

**ANÁLISIS DE IMPACTOS AMBIENTALES PROVOCADOS POR EL
APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES,
RECONOCIENDO METODOLOGÍAS QUE DESARROLLAN NUEVAS FUENTES
GENERADORAS DE ENERGÍA EN PANAMÁ Y COLOMBIA**

JEAN PAUL PINZÓN 506235
JUAN DAVID QUEVEDO 506141



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA,
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL,
BOGOTÁ D.C.
Octubre 2019**

**ANÁLISIS DE IMPACTOS AMBIENTALES PROVOCADOS POR EL
APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES,
RECONOCIENDO METODOLOGÍAS QUE DESARROLLAN NUEVAS FUENTES
GENERADORAS DE ENERGÍA EN PANAMÁ Y COLOMBIA**

JEAN PAUL PINZÓN 506235
JUAN DAVID QUEVEDO 506141

**Proyecto de grado presentado para optar el título de
INGENIERO CIVIL**

Director

JUAN SEBASTIÁN DE PLAZA SOLÓRZANO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA,
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL,
BOGOTÁ D.C.
Octubre 2019**

PERÍODO: *2019-III*

PROGRAMA ACADÉMICO: *INGENIERÍA CIVIL*

ESTUDIANTE: *JEAN PAUL PINZÓN GONZÁLEZ*

CÓDIGO *506235*

ESTUDIANTE: *JUAN DAVID QUEVEDO ORJUELA*

CÓDIGO *506141*

DIRECTOR: *JUAN SEBASTIÁN DE PLAZA SOLÓRZANO*

ALTERNATIVA: *VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL (Monografía)*



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de aceptación:

Ing. JUAN SEBASTIÁN DE PLAZA
Director de Proyecto

Ing. JUAN SEBASTIÁN DE PLAZA
Asesor de Proyecto

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del jurado

Fecha: *octubre de 2019.*

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	10
2	ANTECEDENTES	11
3	ALCANCE Y LIMITACIONES.....	14
4	JUSTIFICACIÓN	15
5	MARCO TEÓRICO.....	17
5.1	Conceptos clave	18
5.1.1	Centrales de Agua fluente	23
5.1.2	Centrales de agua embalsada.....	23
5.1.3	Centrales de bombeo o reversibles	23
5.3	Centrales hidroeléctricas y obras requeridas.....	26
5.4	Sector hidroeléctrico en Colombia.	28
5.5	Importancia de las Metodologías.....	30
5.6	Plan Energético Nacional de Panamá	31
5.7	Potencial hidroenergético de Colombia.....	32
6	MARCO CONCEPTUAL.....	35
6.1	Impactos ambientales de Proyectos hidroeléctricos	37
6.2	Metodologías para evaluar impactos	38
7	OBJETIVOS.....	40
7.1	Objetivo general.....	40
7.2	Objetivos específicos.....	40
8	TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL.....	41
9	DESARROLLO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	44
9.1	Normatividad	48
9.1.1	Metodologías a evaluar	54
9.1.2	Metodología Macano II y Palmira.....	55
9.1.3	Metodología del Manual Técnico de Evaluación Ambiental (MaTEA) 2018	61
9.1.4	Metodología criterios relevantes integrado	63
9.1.5	Metodología EPM.....	65
9.1.6	Metodología INGETEC	68
9.2	Comparación y definición	74

10	OTROS ASPECTOS RELEVANTES	77
10.1	Acumulación de sedimentos en los embalses.....	77
10.2	Caudal Ecológico	78
10.3	Medidas de mitigación.....	81
10.4	Intervención de los cauces	84
10.5	Intervención político-administrativa	86
11	CONCLUSIONES.....	88
12	ESTRATEGIAS DE DIVULGACIÓN	90
13	Bibliografía.....	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Aportación a nivel mundial de cada fuente a la energía final (arriba) y eléctrica (abajo)	20
Figura 2. Clasificación de las energías renovables.....	21
Figura 3. Esquema partes de una central hidroeléctrica	22
Figura 4. Funcionamiento central de bombeo.....	24
Figura 5. Oferta hidroeléctrica en Colombia. Fuente: XM/Acolgen	29
Figura 6. Capacidad instalada a 2050.	31
Figura 7. Capacidad Instalada de Energía Eléctrica	33
Figura 8. Potencial hidroenergético de Colombia	34
Figura 9. Metodología de estudio presentada en la propuesta de anteproyecto	44
Figura 10. Aspectos que se tienen en cuenta para definir las ASPI.....	51
Figura 11. Proceso realización de informes y auditorias	52
Figura 12. Proceso y valoración de aspectos para EsIA	53
Figura 13. Rampa de roca de ancho completo planeado para el proyecto Miel II, 2017 ..	82
Figura 14. Rampa de roca de ancho parcial	83
Figura 15. Diseño de Bypass Fishway	84
Figura 16. Impacto en toda la cadena hidroeléctrica	85

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas de centrales hidroeléctricas	25
Tabla 2. Composición de la energía eléctrica en Colombia para el año 2011 – 2012	28
Tabla 3. Documentos y aspectos relevantes	44
Tabla 4. Proyectos, capacidad de generación y uso del agua de proyecto en Colombia..	45
Tabla 5. Proyectos, capacidad de generación y uso del agua de proyecto en Panamá. ..	46
Tabla 6. Contenidos solicitados en la legislación de cada país	48
Tabla 7. Escala de valoración del grado de perturbación de los impactos.....	55
Tabla 8. Escala de valoración de la extensión de los impactos.....	55
Tabla 9. Escala de valoración del desarrollo de los impactos	56
Tabla 10. Escala de valoración de la duración de los impactos	56
Tabla 11. Escala de valoración de la reversibilidad de los impactos.....	56
Tabla 12. Valores de VIA ponderados	57
Tabla 13. Escala de significación de los impactos.....	57
Tabla 14. Valorización y caracterización de los impactos.....	58
Tabla 15. Jerarquización de impactos	58
Tabla 16. Valorización de las características	60
Tabla 17. Grado de importancia de cada impacto	60
Tabla 18. Lista de impactos ambientales más comunes de acuerdo a las actividades y operaciones del Canal de Panamá.....	61
Tabla 19. Descripción de los atributos de un impacto ambiental y su valoración	62
Tabla 20. Significancia de impactos ambientales	62

Tabla 21. Categorización de Estudio de Impacto Ambiental de Acuerdo a la Significancia de los Impactos Identificados	63
Tabla 22. Rangos utilizados por el método de los factores relevantes integrados	63
Tabla 23. Relevancia del VIA	65
Tabla 24. Criterios metodología EPM	65
Tabla 25. Importancia del impacto según el Ca	68
Tabla 26. Grado de importancia de los parámetros	68
Tabla 27. Matriz con la importancia relativa de cada parámetro	69
Tabla 28. Matriz de comparaciones a pares para la obtención de ponderadores	69
Tabla 29. Ponderadores Obtenidos a través de la Matriz de comparaciones a pares	70
Tabla 30. Intervalos y Conceptos escalares para la calificación de Significancia de los impactos	70
Tabla 31. Notación, Conceptos Escalares, Valores de Calificación y Ponderadores de la Calificación de Significancia	72
Tabla 32. Tabla comparativa entre las metodologías evaluadas	74
Tabla 33. Ejemplos de caudales ecológicos y de metodologías empleadas en algunos países	79

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Valor de Impacto Ambiental	57
Ecuación 2. Impacto Total	60
Ecuación 3. Importancia del impacto	62
Ecuación 4. Fórmula integradora	64
Ecuación 5. Calificación ambiental	67
Ecuación 6. Calificación ambiental ajustada con constantes de ponderación	67
Ecuación 7. Significancia del impacto	70

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1. Esclusas de Miraflores	41
Fotografía 2. Conferencias complejo Panamá Pacífico	42
Fotografía 3. Circuito urbano y parte del lago Gatún	43

1 INTRODUCCIÓN

Las centrales hidroeléctricas como obras civiles de captación que utilizan una fuente renovable de energía, necesitan generar un embalse artificial, y por ello, la ingeniería se ve en la necesidad de inundar parte de un territorio. A raíz de todas las obras que requiere un proyecto hidroeléctrico, se generan alteraciones en la funcionalidad del medio ambiente que pueden ser reversibles o mitigados en la mayoría de casos, pero todo depende de la correcta metodología implementada desde el proceso de planeación y ejecución de la obra, como un posterior monitoreo del ambiente durante la vida útil de la central.

Este documento presenta un contexto del análisis de proyectos hidroeléctricos, que hacen parte de los planes de desarrollo energético de Colombia y Panamá. A pesar de limitaciones en la adquisición de información, se logra justificar la necesidad de definir una metodología que logre integrar de manera interdisciplinar, la mayor parte de los factores que deben contemplarse en el análisis de una propuesta de una central hidroeléctrica.

De igual manera, se busca reevaluar los escenarios de costo-beneficio identificando los problemas derivados de la solución planteada, para lo cual, se toman como referencia “estudios de caso”, para evidenciar los principales impactos enfocados al uso del agua, la finalidad del proyecto y la calidad del recurso.

El estudio pretende entonces, comparar las distintas condiciones y criterios base utilizados para la formulación y evaluación de los proyectos en Panamá, que permitan evidenciar falencias y proponer mejoras para poder ser llevados a proyectos en Colombia o viceversa, a partir de la información adquirida en la visita técnica a Panamá.

2 ANTECEDENTES

La necesidad de analizar la metodología de identificación de impactos ambientales en pequeñas centrales hidroeléctricas basada en estudios de caso, permite evidenciar los criterios ambientales sociales, económicos e institucionales, que adoptan distintas medidas para mitigar los impactos generados.

Inicialmente puede surgir por la falta de una metodología específica para los proyectos de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en Cauces Naturales (PCH-CN) a raíz del aumento de este tipo de proyectos dentro del plan de desarrollo de cualquier país, como sucede en Chile. Tanto así, que pueden convertirse en parte esencial del desarrollo sostenible del país, pero deben tener el apoyo legislativo correspondiente que contribuya a fortalecer la planeación de este tipo de proyectos (*Ordoñez, 2011*).

Dentro del contexto del análisis de proyectos de centrales hidroeléctricas, la evaluación del riesgo ecológico (ER) de la construcción de represas (embalse), ha ganado importancia en los últimos años. El impacto ecológico de un proyecto de presa, juega un papel importante en el equilibrio de la protección del medio ambiente y la operación de la presa, mantener el ecosistema del río y el desarrollo sostenible de la región. Sin embargo, la mayoría de los estudios se centran en el impacto ambiental de factores individuales.

Es allí, donde la técnica del Análisis de Redes Ecológicas (ARE), permite analizar el impacto ecológico ambiental de distintos ecosistemas alterados como una sola unidad, ya que evalúa la interrelación de materiales, energía e información entre los componentes del sistema de una manera integral.

El sistema permite cuantificar los efectos ecológicos como consecuencia de éstos proyectos, a pesar de saber que “dependiendo del ecosistema y del peligro se evalúan diferentes factores”, lo que concluye que cada bioma tiene características generales en común con otras, pero además otros particulares que hacen necesario un análisis específico que reúna todas las variables (*Chen, Fath, and Chen, 2010*).

Mientras tanto, el sistema normativo ambiental ofrece algunas disposiciones para la implementación de este tipo de proyectos, pero generalmente se convierten en limitaciones, ya que no permiten trabajar de manera sistemática e interdisciplinar en asegurarse que tanto los recursos naturales como el medio social y cultural, sean considerados en los procesos de toma de decisiones.

Por éste motivo, se ha propuesto la implementación de listas de verificación de impactos ambientales, que con su aplicación, logra no solo clasificar los factores esenciales sino reconocer por medio una matriz diferentes alternativas y medidas de mitigación que contribuyan a elegir un diseño correcto, no solo desde lo técnico y económico como se realiza habitualmente, sino que se resalta la importancia de

una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) como proceso de advertencia temprana y análisis continuo que protege el medio ambiente contra daños injustificados provocados por un proyecto (*Ordoñez, 2011*).

El análisis ambiental de las grandes centrales hidroeléctricas de Colombia aplicando la metodología multiobjetivo, permite definir las principales características de distintas hidroeléctricas consignadas en los Diagnósticos Ambientales de Alternativas (DAA) y en los estudios de impacto ambiental (EIA), requisito para la ejecución de un proyecto.

El estudio busca organizar jerárquicamente de acuerdo al impacto que ocasiona al medio ambiente cada proyecto hidroeléctrico mediante criterios ambientales, económicos y sociales donde se clasifican, ponderan y comparan para proponer medidas de manejo que mitiguen el potencial de riesgo ambiental generado por dichos proyectos (*Matters, 2011*).

“Los EIA deben comenzar mucho antes de cualquier construcción, especialmente en regiones geográficas donde la biota¹ es poco conocida. El tiempo de espera debe permitir el muestreo a través de al menos un ciclo anual, preferiblemente más para permitir la variabilidad natural. El monitoreo de la biodiversidad debe continuarse durante la fase de construcción” (*McAllister, Craig, and Davidson, 2001*).

Las metodologías de estudio ambiental se definen con variedad de criterios para dar solución a un mismo problema, sin embargo, no se puede afirmar que exista un método hoy día que logre reunir todas las variables ambientales, sociales, culturales, institucionales y urbanas que puedan definir de manera precisa los impactos ambientales generados por una obra civil (ni siquiera a nivel internacional). Y no quiere decir que, al reconocer factores positivos que aporte la obra, el estudio refleje menos impactos negativos. Si bien existen acciones que mitigan el impacto, nunca serán comparados con el daño que generan al ambiente (*GARCIA CANO, 2016*).

¹ Conjunto de seres vivos formado por fauna y flora de una misma región.

A nivel internacional, se han reflejado controversias en el desarrollo de centrales hidroeléctricas en una sola cuenca. Como sucede en las 240 pequeñas centrales hidroeléctricas previstas en Brasil que han llegado a su límite. Sin una evaluación integrada de aspectos ambientales y sociales, “legislación blanda” bajos controles e incentivos fiscales y financieros, finalmente no justifican la necesidad de la generación de energía que favorece ganancias a entidades privadas. Todo lo anterior, como lección de las condiciones desfavorables que podrían generarse por falta de controles adecuados (Osava, 2008).

Por el contrario, actualmente se realizan estudios sobre cuencas hidrográficas en Panamá, que buscan evaluar la viabilidad de proyectos sobre sus afluentes. A pesar de que actualmente se desarrollen proyectos hidroeléctricos, resaltan la importancia de evaluar las condiciones de las cuencas en cuanto a cantidad y calidad del agua que puedan verse afectados o beneficiados por proyectos destinados al abastecimiento de agua potable como: irrigación, turismo y navegación, pero no para la construcción de hidroeléctricas. Y si bien la producción de agua es buena, se han generado condiciones sociales y ambientales (*reforestación y agricultura*) para la comunidad que ayuda a preservar las cuencas (Rico, 2018).

En cuanto a las condiciones del sector hidroeléctrico en Colombia, se refleja que “los problemas no son realmente de los embalses, sino de la adecuada planeación.” Como es el caso de la central hidroeléctrica Miel, que, en la necesidad de suplir el incremento en la demanda energética, propone la construcción de un Túnel, y por una mala planeación, el agua que fluía a la superficie se pierda bajo el suelo de la montaña. Esto provocó la afectación de 22 quebradas y conllevó a la compra de 350 hectáreas aledañas a la obra, para intentar compensar los problemas de escasez hídrica en la zona (Correa, 2012).

3 ALCANCE Y LIMITACIONES

El alcance del proyecto se define a partir de la calidad de información encontrada, la cual permita establecer las distintas metodologías de proyectos hidroeléctricos en Panamá y Colombia. Luego se podrá identificar posibles falencias o problemas derivados, que, junto con el análisis de las necesidades del uso del agua y la calidad del recurso, encaminen a una sola metodología que analice los factores ambientales desde las experiencias de estudios de caso y proponga obtener resultados óptimos en cuanto a mitigación y prevención de impactos ambientales.

La principal limitación encontrada, es la poca accesibilidad a información en temas de hidroeléctricas enfocadas a las metodologías implementadas, ya que los estudios realizados para ese tipo de proyectos, en su mayoría están a cargo de iniciativas privadas que no permiten el acceso libre a ese tipo de información. Y, por otro lado, sobre los estudios de monitoreo, control de distintos recursos y en general de cualquier tipo de condiciones hídricas, no se encuentran actualizados. Además de la poca información de las metodologías de impacto ambiental utilizadas en centrales hidroeléctricas de otros países.

4 JUSTIFICACIÓN

En la necesidad de desarrollar proyectos hidroeléctricos que permitan aprovechar ventajas como la topografía, pluviosidad y recursos hídricos, Colombia se ha visto perjudicado por proyectos como Hidroituango y El Quimbo que, por afectaciones ambientales considerables, han llevado a cuestionar los estudios previos sobre los factores evaluados que generan considerables costos económicos, sociales y ambientales.

Las hidroeléctricas son una de las más importantes fuentes generadoras de energía, pero a la vez “representan uno de tantos factores de pérdida de la biodiversidad en el mundo y han contribuido al mayor deterioro ambiental” (Rico, 2018).

Asimismo, la generación de energía en Panamá se ha visto sumergida en la innovación e interés de buscar nuevas formas y fuentes generadoras de energía aprovechando condiciones diferentes de su país respecto a Colombia. Si bien Panamá se encuentra en una zona intertropical que permite tener una diversidad, terrenos húmedos por su relieve que modifica el régimen pluviométrico, también posee carencias en cuando al abastecimiento de agua potable.

Pero, a pesar de tener numerosos ríos y lagos, todavía siguen desarrollando propuestas para mejorar su calidad de abastecimiento, afectado por el exceso de agua que requiere la operación del canal. Aun así, se debe resaltar siempre la importancia de la generación de fuentes sustentables de energía que busquen salvaguardar el medio ambiente.

A raíz de esta problemática, es necesario buscar e implementar la mejor manera de generar energía, que no afecte de manera directa al medio ambiente o que intente compensar los inevitables impactos negativos que generan la intervención del ser humano sobre el ambiente. “La energía hidroeléctrica no descarga contaminantes al medio ambiente, sin embargo, no está libre de efectos ambientales adversos” (Interior, 2005).

La metodología de cualquier tipo de impacto ambiental, debe tener un alcance que también contemple consecuencias inesperadas que se pueden llegar a prevenir desde una buena planeación y sistemas de monitoreo o seguimiento que permitan saber el estado del ambiente durante la vida útil de la obra. Por lo tanto, se requiere tomar como referencia proyectos diseñados anteriormente con condiciones similares que permitan concluir acciones de mitigación más efectivas (GARCIA CANO, 2016).

Por lo anterior, la importancia de establecer todos los posibles factores que intervienen en este tipo de obras (sobre todo los que se pasan por alto), se centra en dimensionar los riesgos que pueden generarse a raíz de todas las obras que hacen parte de un proyecto hídrico, por medio de una comparación con proyectos

similares, atendidos con metodologías y condiciones diferentes que buscan sustentar el aprovechamiento del recurso agua y reevaluar los escenarios de costo-beneficio.

5 MARCO TEÓRICO

Le necesidad de construir centrales hidroeléctricas surge de la problemática sobre la contaminación que se da a partir de la generación de energía por medio de hidrocarburos, este fenómeno no se presenta en centrales hidroeléctricas ya que se utiliza la energía potencial y posterior energía cinética del agua sin generar ningún tipo de combustión con recursos no renovables.

A raíz del aprovechamiento del caudal de un cuerpo de agua, se transforma la energía potencial que genera el movimiento del flujo en energía eléctrica. Por lo tanto, es importante reconocer qué cantidad del caudal utilizado para la generación se regresa al cauce una vez que ha sido aprovechado. Además de que el recurso hídrico de un cuerpo de agua es un recurso doméstico que, a diferencia del combustible o gas natural, no está sujeto a las fluctuaciones del mercado.

Por otro lado, los reservorios de las centrales hidroeléctricas recogen el agua de la atmósfera, la cual posteriormente podrá ser utilizada para consumo o para riego dependiendo de la calidad que se analice de la misma. Al almacenar el agua, controlan los niveles freáticos del agotamiento y reducen las posibilidades de inundaciones y sequías.

La hidroelectricidad, dentro de sus benéficos, desarrolla una mayor confiabilidad y estabilidad de los sistemas eléctricos, satisfaciendo las necesidades máximas. La energía creada por las instalaciones hidroeléctricas se puede introducir en el sistema eléctrico más rápido que la de cualquier otra fuente de energía. La capacidad de los sistemas eléctricos para lograr la producción máxima desde el inicio de manera rápida previsible, los hace firmemente apropiados para abordar las diferentes alteraciones en el consumo y así brindar servicios auxiliares al sistema eléctrico, manteniendo así una proporción entre la oferta y la demanda (School, 2010).

El ciclo hidrológico del agua produce una cantidad mínima de gases de efecto invernadero (GEI) comparado con centrales eléctricas las cuales dependen del gas, combustible y carbón para funcionar. La hidroelectricidad ayuda a retardar o disminuir el calentamiento global y la reducción de lluvia ácida, hoy en día la hidroelectricidad ayuda al medio ambiente ya que se estima ahorra quemar 4.4 millones de barriles de petróleo al día en todo el mundo.

Hablando de las emisiones, los ríos también deben ser considerados en la medición de la cantidad de carbono que va a la atmósfera. La principal razón es que los ríos transportan materia orgánica de los continentes a los océanos y no son los únicos ecosistemas de agua dulce que generar emisiones de dióxido de

carbono y metano² (*embalses, represas y lagos*). Los bosques que se intervienen producen emisiones de forma natural, pero tiene un sistema autorregulado, es decir, emiten y capturan el carbono. Al intervenir el ecosistema, se cambia su dinámica y pasa de funcionar como procesos aeróbicos (hay suficiente presencia de oxígeno) a un proceso anaeróbico (*con deficiencia de aire*) (Iagua, 2016).

Según la investigadora Sandra Patricia Loaiza³, “cuando hay una inundación del bosque, este sufre una transformación de la materia orgánica a la que se le añade la carga de sedimentos que traen los afluentes. Además, disminuye el oxígeno y aumentan los gases de efecto invernadero”.

Por otro lado, es importante tener en cuenta que una central hidroeléctrica, si bien es de bastante compleja al construir y tiene una inversión significativa, estas inversiones son a largo plazo, ya que tienen una vida útil entre 50 y 100 años, y se pueden ajustar fácilmente a nuevas tecnologías, además de sus costos de operación y mantenimiento que son relativamente bajos.

Entendiendo la importancia de las emisiones e intervención del ecosistema, el método para generar energía por medio de recursos hídricos más amigable con el medio ambiente, es a partir del sistema denominado “filo de agua”. La producción de energía consiste en captar el agua en un punto del cauce y restituyéndolo posteriormente a la generación sin tener una considerable afectación al medio ambiente, ya que no es necesario concebir obras civiles como diques para la retención de agua (embalses), debido a que utiliza una cantidad reducida del caudal de un cuerpo de agua sin alterar sus condiciones naturales y provocar afectaciones aguas arriba o agua abajo, a pesar que se interviene un tramo del cauce. (School, 2010).

5.1 Conceptos clave

El medio ambiente como conjunto de factores culturales, económicos, estéticos, físicos, naturales y sociales, requiere una interacción entre sí con los individuos y la comunidad con la que viven, determinando su forma, carácter, relación y supervivencia (*Ruberto 2006*).

El sistema se conforma de elementos y procesos del medio ambiente natural y su relación con la comunidad o población. Se puede dividir en tres subsistemas:

1. Medio Físico: Aire Tierra y Agua
2. Medio Biótico: componente de vida Flora y Fauna
3. Medio Perceptual: Unidades de *Paisaje (Valles, Cuencas visuales y vistas)*.

² Según estudios realizados en Brasil y Estados Unidos reportan que los embalses y represas contribuyen en entre 4 % y 12 % en las emisiones globales causados por la intervención del hombre.

³ Investigadora colombiana, Maestría en Ingeniería Ambiental, actividades de investigación en la Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira.

De igual manera, los factores ambientales están conformados por diversos componentes del medio entre los que se desarrolla la evolución y la vida del planeta, y son el soporte de la actividad de cualquier ser vivo. Estos factores son susceptibles a la modificación a partir del comportamiento del ser humano.

Las modificaciones en los factores ambientales, pueden ocasionar grandes o pequeñas alteraciones en la funcionalidad de los ecosistemas, dependiendo de la magnitud del cambio que sufran estos factores. La visualización o determinación de estos cambios se presenta a medio o largo plazo o en algunos casos a corto plazo (*problemas menores y fáciles de mitigar*) (Ruberto, 2006).

Un ejemplo evidente de lo anterior, es la contaminación que se produce al afectar el curso de un cuerpo de agua a raíz de construcciones civiles como presas, genera efectos como anoxia⁴ del agua (Henry, Heinke, and García 1999).

Además, estos factores ambientales son considerados por los organismos competentes de la CEE⁵ como:

- El hombre la flora y la fauna
- El suelo, el agua, el aire, el clima y el paisaje. Las interacciones entre los anteriores
- Los bienes materiales y el patrimonio cultural

También hace parte del sistema y sus componentes el factor socioeconómico, constituido por las estructuras y condiciones sociales, histórico culturales y económicas en general, de las comunidades humanas o de la población de un área determinada (Ruberto, 2006).

La energía eléctrica a través de la historia, ha adquirido importancia para el desarrollo social y económico de una población, en la actualidad las principales fuentes de generación de energía a nivel mundial, se efectúan a partir de recursos no renovables, sin embargo, la mayor fuente de generación de energía renovable son la Biomasa y la hidroeléctrica, como se muestra en la Figura 1.

⁴ Las aguas anóxicas son zonas de agua marina, agua dulce o de aguas subterráneas en las que el oxígeno disuelto está agotado.

⁵ Directiva 85/337/CEE, del Consejo, de 27 de junio de 1985, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente

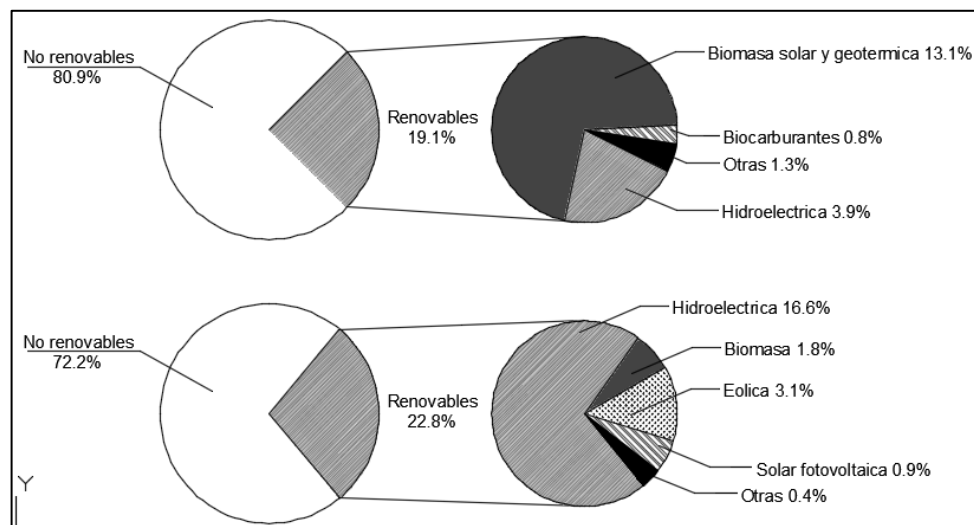


Figura 1. Aportación a nivel mundial de cada fuente a la energía final (arriba) y eléctrica (abajo)
Fuente: REN21, Global Status Report 2015 (datos de 2014).

Para controlar la utilización de los recursos naturales y preservar el medio ambiente, surge el término de desarrollo sostenible, donde su implementación requiere el cumplimiento de las siguientes pautas:

- ✓ Utilizar energías renovables.
- ✓ Usar energías limpias
- ✓ Evitar grandes estructuras de generación
- ✓ Reducir el consumo energético innecesario
- ✓ Económicamente autosuficiente

Las energías renovables son consideradas como aquellas fuentes que de cierta manera son inagotables, ya sea por su cantidad de energía o porque son capaces de regenerarse por un proceso natural. La Figura 2 permite reconocer a su vez cómo se desglosan en energías convencionales y no convencionales. Esto permite destacar la energía de cogeneración⁶, la cual representa una tecnología eficiente en cuanto al mejor aprovechamiento del recurso, respecto a centrales convencionales.

⁶ El término "*cogeneración*" se utiliza para definir aquellos procesos en los que se produce conjuntamente energía eléctrica (o mecánica) y energía calorífica útil, a partir de una fuente de energía primaria.

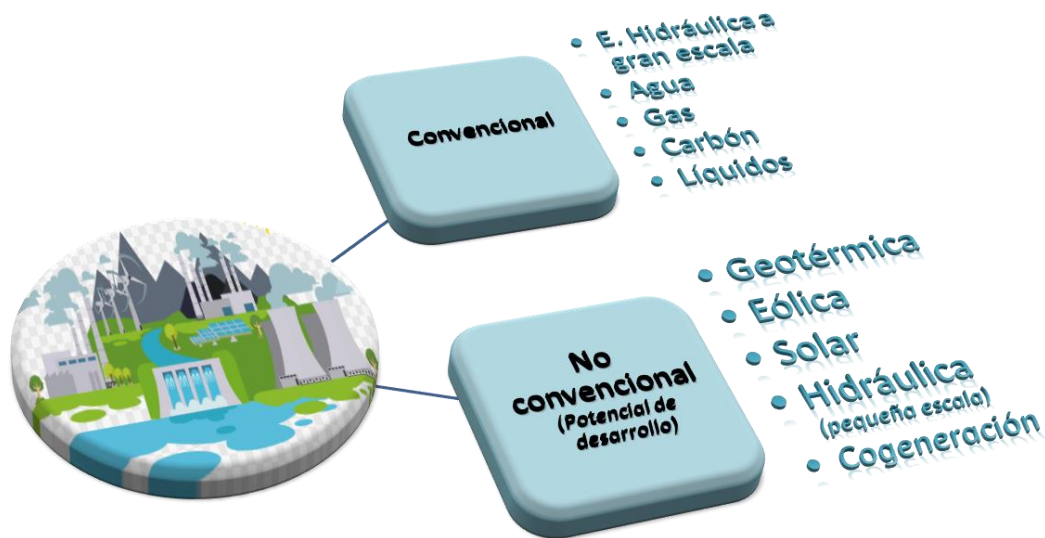


Figura 2. Clasificación de las energías renovables
Fuente: Autores

El desarrollo sustentable preserva, conserva y protege los recursos naturales en beneficio de la generación presente, sin afectar o comprometer la capacidad de satisfacer las necesidades de futuras generaciones. Pero el desarrollo sostenible satisface además las necesidades económicas, sociales y diversidad cultural a favor de generaciones presentes, sin comprometer las futuras (Henry, Heinke, and García, 1999).

Los recursos que se renuevan continuamente a causa de la presencia de fuerzas físicas como viento, calor geotérmico, gradientes térmicos en el océano, agua que cae, marea, entre otros. Aunque también existen los recursos originados a partir de combustibles fósiles o agentes radioactivos que se encuentran depositados en la tierra desde hace miles de años, cada vez que estos minerales se explotan, el capital energético del planeta se reduce (Henry, Heinke, and García, 1999).

Dentro del contexto de fuentes de energía, se define la energía renovable, compuesta por fuentes o fenómenos de la naturaleza con una alta capacidad de generación, ya sea por un considerable contenido de energía o por la capacidad de regenerarse por procesos físicos de la naturaleza, como corrientes naturales de agua y viento (GARCIA CANO, 2016).

Por tal motivo, la actividad humana sobre el medio ambiente, traduce alteraciones favorables o desfavorables en los recursos naturales que siempre buscan la preservación de los ecosistemas de manera directa o física. La misión entonces, consiste en generar acciones que logren la máxima racionalidad de algún proceso como la conservación, protección, defensa y mejora del medio ambiente, basándose en la coordinada información y participación ciudadana (GARCIA CANO, 2016).

Por otro lado, las centrales cuentan con elementos de retención y almacenamiento de agua para la generación de energía como embalses, presas y azud, por lo general, estas estructuras de presa se realizan interviniendo la trayectoria de ríos, quebradas u otros cuerpos de agua.

Toda instalación diseñada para aprovechar la energía potencial gravitatoria, tiene como función convertir la energía potencial y cinética del agua, en energía eléctrica disponible e implica que está formada por todos los elementos que intervienen en este proceso de transformación de energía.

De igual forma, los proyectos cuentan con elementos de conducción que se encargan de transportar el agua que servirá como recurso para ser transformada en energía, dentro de los cuales están los canales, elementos de apertura, cámaras de carga, sifones, tuberías, entre otras alternativas, como se muestra en la Figura 3 (J. F. S. Osorio, 2008).

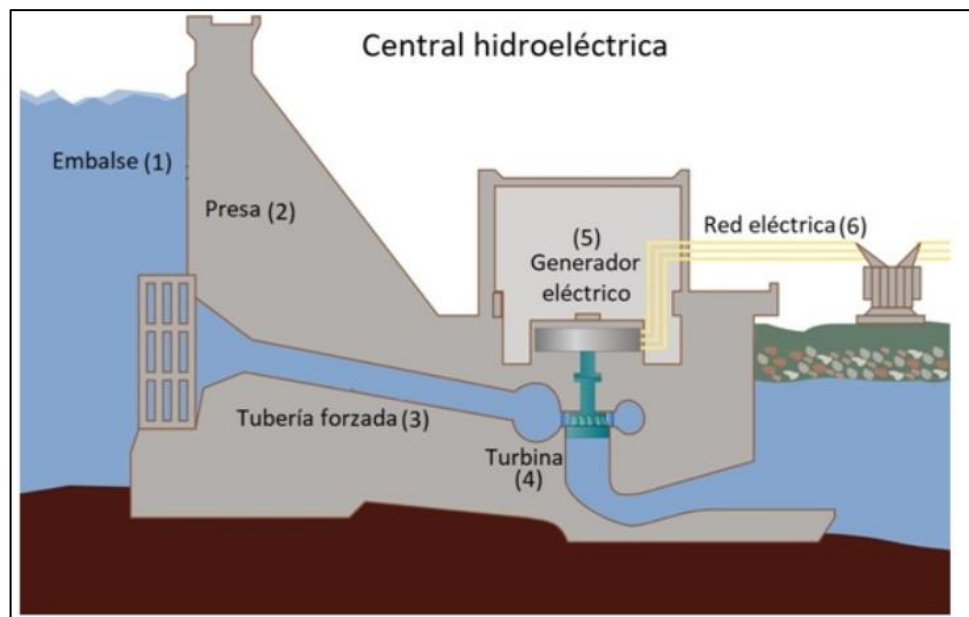


Figura 3. Esquema partes de una central hidroeléctrica

Este tipo de centrales se componen de un embalse (1) donde se retiene el agua mediante una presa (2), una tubería forzada (3) que conduce el agua hasta la sala de máquinas compuesta por una turbina (4), un generador eléctrico (5) y posteriormente un transformador mediante el cual toda la fuerza hidráulica es transformada en energía utilizable y será transportada mediante la red eléctrica (6). (Henry, Heinke, and García 1999).

De igual manera, cuentan con equipamientos específicos hidráulicos como turbinas multiplicador, rejas y limpia rejas. Mientras que la parte eléctrica se compone de un generador, transformador y línea eléctrica.

A su vez, existe variedad de centrales hidroeléctricas, estas pueden clasificarse según sus características técnicas, peculiaridades del asentamiento o condiciones de funcionamiento:

5.1.1 Centrales de Agua fluente

Para este tipo de centrales no existen embalses presas o diques, en general el terreno no cuenta con un desnivel significativo y es necesario que el caudal del cuerpo de agua sea constante para asegurar una potencia durante todo el año, durante los periodos de precipitación se genera la máxima potencia por el contrario en temporadas de sequía la potencia disminuye en función del caudal.

5.1.2 Centrales de agua embalsada

Genera producción a partir de grandes lagos o pantanos artificiales, a partir de la construcción de una o más presas, donde se almacena un volumen de agua considerable superior al nivel de las turbinas.

En este tipo de central, a diferencia de las centrales de agua afluyente, existe un control en la cantidad de agua que pasa a través de la turbina, ya que el embalse es artificial tiene un control de aguas por parte del ser humano y es posible que este tipo de generación produzca energía durante todo el año independientemente de las condiciones de caudal que presenta el río aguas arriba.

Actualmente se manejan dos tipos de centrales de agua embalsada:

- ❖ Centrales a pie de presa.
- ❖ Centrales por derivación de las aguas.

5.1.3 Centrales de bombeo o reversibles

Cuenta con dos embalses que se encuentran a diferente nivel, cuando la demanda de energía eléctrica está en su punto superior, estas trabajan como una central hidroeléctrica convencional. El agua desciende desde el embalse superior haciendo girar las turbinas y posteriormente ser almacenada en el embalse inferior, durante un periodo de menor demanda el agua es bombeada al embalse superior para generar un nuevo ciclo de producción.

El reservorio actúa como una batería, almacenando energía en forma de agua cuando las demandas son bajas y produciendo una potencia máxima durante los periodos picos diarios y estacionales. Una ventaja del almacenamiento por bombeo es que las unidades de generación hidroeléctrica pueden arrancar

rápidamente y realizar ajustes rápidos en la salida. Funcionan de manera eficiente cuando se utilizan durante una hora o varias horas, como se evidencia en la Figura 4 (Interior, 2005).

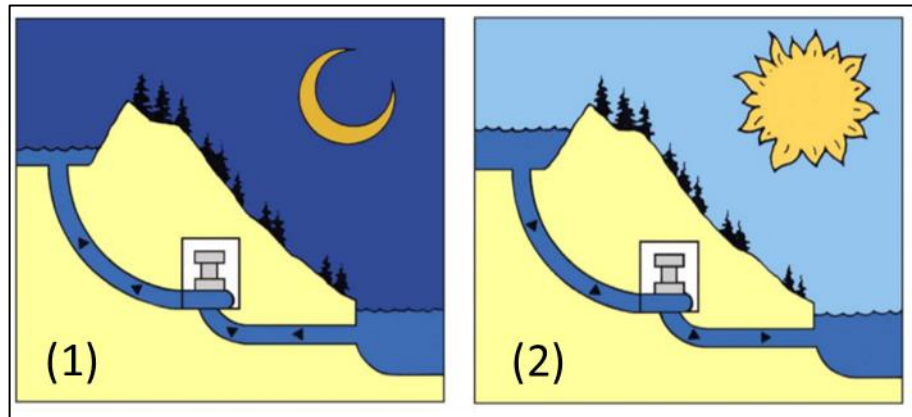


Figura 4. Funcionamiento central de bombeo

En la noche, cuando la demanda de energía del cliente es baja, el agua se bombea al sistema de almacenamiento (1). Cuando la demanda es alta y se coloca una carga pesada en el sistema, se permite que el agua fluya de regreso a través de los generadores (2).

A su vez, los tipos de centrales hidroeléctricas empleadas, están en función no solo del estado del drenaje o cuerpo de intervenir, sino también de su altura de caída del agua. Si bien las de tipo agua fluyente, usan la energía cinética del río para generar electricidad, las de embalse usan tuberías de alta presión para lograr producir la energía del agua en reposo, por lo que implica mayores costos de operación, pero asegura la obtención de energía durante todo un año lo que representa un mayor uso de este tipo de centrales, además de otras ventajas.

De acuerdo al organismo público intergubernamental OLADE (Organización Latinoamericana de energía), las plantas generadoras se pueden clasificar según su tamaño y función (OLADE, 2011). Así:

- De acuerdo a la altura neta del salto:
 - Saltos de pequeña altura: $H \leq 14,99\text{m}$
 - Saltos de mediana altura: $15 \leq H \leq 49,99\text{m}$
 - Saltos de gran altura: $H \geq 50\text{ m}$
- Según la potencia instalada (*depende de cada país*):
 - Micro centrales: $P_a < 100\text{kW}$
 - Centrales de pequeña potencia: $100 \leq P_a < 1.000\text{kW}$
 - Centrales de media potencia: $1.000 \leq P_a < 10.000\text{kW}$
 - Centrales de gran potencia $P_a \geq 10.000\text{kW}$.

- Según el sistema de explotación:
 - Centrales aisladas e independientes
 - Centrales coordinadas.
- Según la demanda que satisfacen:
 - Centrales de base
 - Centrales de punta

Dentro de los tipos de estructuras hidráulicas más relevantes para el aprovechamiento del recurso agua, se tiene los proyectos a filo de agua (o centrales de pasada) en la cual no hay acumulación apreciable de agua para accionarlas turbinas. Donde usan parte del flujo de un cuerpo de agua para generar energía eléctrica, funciona de forma continua ya que no almacena agua para su funcionamiento.

Cierto porcentaje del caudal del agua se desvía por una rejilla o túnel que en general no permite el ingreso de partículas mayores a 2 centímetros hasta llegar a la planta donde es almacenada en un tanque o embalse artificial. Allí el agua es limpiada por proceso de sedimentación para posteriormente ser conducida a una tubería de carga y ser transportada a la casa de máquinas (MINOTTA MARIN, 2017).

Como resumen de lo definido anteriormente, en la Tabla 1 se muestran algunas ventajas y desventajas que se pueden presentar en la construcción de centrales hidroeléctricas (JSC, 2010).

Tabla 1. Ventajas y desventajas de centrales hidroeléctricas

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Se utiliza una fuente de energía renovable.	Inicialmente gran inversión para la construcción de obras civiles complejas
Generación de energía limpia debido a que no se utilizan fuentes combustibles que provocan efecto invernadero	Desplazamiento generalmente alejado de los centros de consumo
Se pueden derivar otros beneficios como suministro de agua potable, control de crecidas, riego entre otras	Largos tiempos de construcción
Costos de mantenimiento bajos	Impactos ambientales en el paisaje y en el recurso hídrico
Sencilla operación	Afectación social debido a la intervención del flujo
Obras civiles de gran duración	Variación de ecosistemas y eliminación de algunos en los casos de generar embalses artificiales (JSC, 2010).

5.3 Centrales hidroeléctricas y obras requeridas

Las presas son conocidas como referentes de centrales hidroeléctricas y su funcionamiento general consiste en capturar la energía de una caída de agua, para generar electricidad. Para lograrlo, una turbina convierte la energía cinética (*agua en movimiento*) de la caída de agua, en energía mecánica (*agua que fluye y hace girar las aspas de una turbina*).

Luego, una turbina gira el rotor del generador que convierte la energía mecánica de la turbina en energía eléctrica, la cual es de alto voltaje para que pueda viajar largas distancias y llegar a subestaciones locales que lo reducen para poder distribuirlo. (Interior, 2005)

Una presa típica en términos coloquiales, se escribe como un muro de material sólido construido a través de un río para bloquear el flujo del río y así almacenar agua en el lago que se formará aguas arriba de la presa, a medida que el agua fluye desde el río arriba de la presa (Faisal, 2017).

A continuación, se presentan conceptos de obras que hacen parte de la construcción de una presa.

➤ Estructuras de Captación

La obra de captación cumple la función de atraer y almacenar una cantidad del caudal natural de un cause o cuerpo de agua que será utilizado para la generación de energía. Para esto es necesario construir un muro o presa que asegure la profundidad requerida y una operación eficiente (JSC, 2010).

➤ Desarenador

Esta obra se diseña para retener la mayor cantidad de arenas que trae el agua ayudado a que el proceso de ingreso al canal de aducción, se realice con agua más limpia y menor contenido de sedimentos (JSC, 2010).

➤ **Estructura de seguridad**

Esta obra se realiza para descargar el exceso de caudal que se pueda presentar en el cuerpo de agua producido por los aumentos del nivel aguas arriba, generalmente están ubicados a un costado de la cámara de carga (JSC, 2010).

➤ **Cámara de carga**

Tiene como objetivo controlar el caudal de agua que fluye desde el afluente a la central, en algunos casos se utiliza como depósito final de regulación, aunque generalmente solo tiene capacidad para suministrar el volumen necesario para el arranque de la turbina.

Cuando se genera la conducción en presión a la cámara de carga, esta se cierra y por medio de una chimenea de equilibrio, amortigua las variaciones de presión protegiéndola de los golpes de ariete. Además de que resulta indispensable tener en cuenta que en al diseñar la geometría de la cámara se busca evitar las pérdidas de carga y los remolinos aguas arriba y en la propia cámara (JSC, 2010).

➤ **Tuberías de Presión**

Tiene como objetivo transportar el agua desde la cámara de carga hasta la casa de máquinas, durante este proceso se genera una transformación de energía potencial a energía cinética y de presión a medida que el agua desciende (JSC, 2010).

➤ **Obras de conducción**

Las obras de conducción están encargadas de transportar el caudal del agua a la cámara de carga, se utilizan canales, tuellos y sifones (JSC, 2010).

➤ **Casa de Maquinas**

Es el lugar donde se encuentran los equipos que permiten la transformación de energía hidráulica a energía eléctrica por medio de inducción electromagnética debido al giro de una bobina dentro de un campo magnético, Generadores, Turbinas entre otros (JSC, 2010).

➤ **Elementos de regulación, control y protección**

La instalación de estos elementos es necesaria para controlar y regular el buen funcionamiento de la central (JSC, 2010).

5.4 Sector hidroeléctrico en Colombia.

El sector energético en Colombia está conformado por diferentes entidades encargadas de diferentes funciones en la generación y suministro de energía donde algunas de ellas están encaminadas a la generación y distribución de la energía.

Esta variedad de actividades surgió a partir de las leyes 142 y 143 de 1994, lo que ha fomentado a la competencia en el sector, a partir de estas leyes el gobierno delegó diferentes responsabilidades a entidades como la unidad miera energética (UPME), Súper intendencia de Servicios públicos domiciliarios (SSPD) y la Comisión de regulación de Energía y gas, por otro lado, esto también ha generado la inversión de entidades privadas y diseño y construcción de nuevos proyectos de infraestructura (Parra Basto & Vacca, 2016).

En Colombia predomina la producción de energía a partir de centrales hidroeléctricas, afirmación dado por el estudio realizado por el ministerio de minas y energía en el año 2013 (ver *Tabla 1*) que refleja el potencial hidroeléctrico frente al demás tipo de recursos.

Tabla 2. Composición de la energía eléctrica en Colombia para el año 2011 – 2012

RECURSOS	2011 (GWH)	2012 (GWH)	%	VARIACIÓN (%)
<i>Hidráulicas</i>	45.598	44.924	74.9%	-1.40
<i>Térmicas</i>	9.384	11.506	19.2	22.60
<i>Menores</i>	3.337	3.213	5.4	-3.70
<i>Cogeneradores</i>	317	347	0.6	9.40
TOTAL	58.620	59.989	100	2

Fuente: XM Compañía de Expertos de Mercados S.A ESP

Para evidenciar aún mejor la oferta energética en Colombia, el Sistema Interconectado Nacional (SIN) y administrador del Mercado de Energía Mayorista del país, registra que la oferta de las compañías hidroeléctricas es de 11.834,57 megavatios (MW). La cifra corresponde a 68% de la oferta energética del país (REPÚBLICA, 2019) como se puede evidenciar la Figura 5.

Para algunos analistas el sector eléctrico, ha recuperado el dinamismo de la economía nacional gracias a mayores lluvias, en parte “las hidroeléctricas se han reactivado y eso genera crecimiento, en vez de usar termoeléctricas”⁷, que tienen costos mucho más altos. Esto se evidencia en las cifras del operador que, a junio de 2019, muestran un alza de la demanda de energía de 3,2%.

⁷ Analista macroeconómico de Alianza Valores, Felipe Espitia, para la columna Las 26 hidroeléctricas tienen capacidad para generar 10.959 megavatios del periódico La República

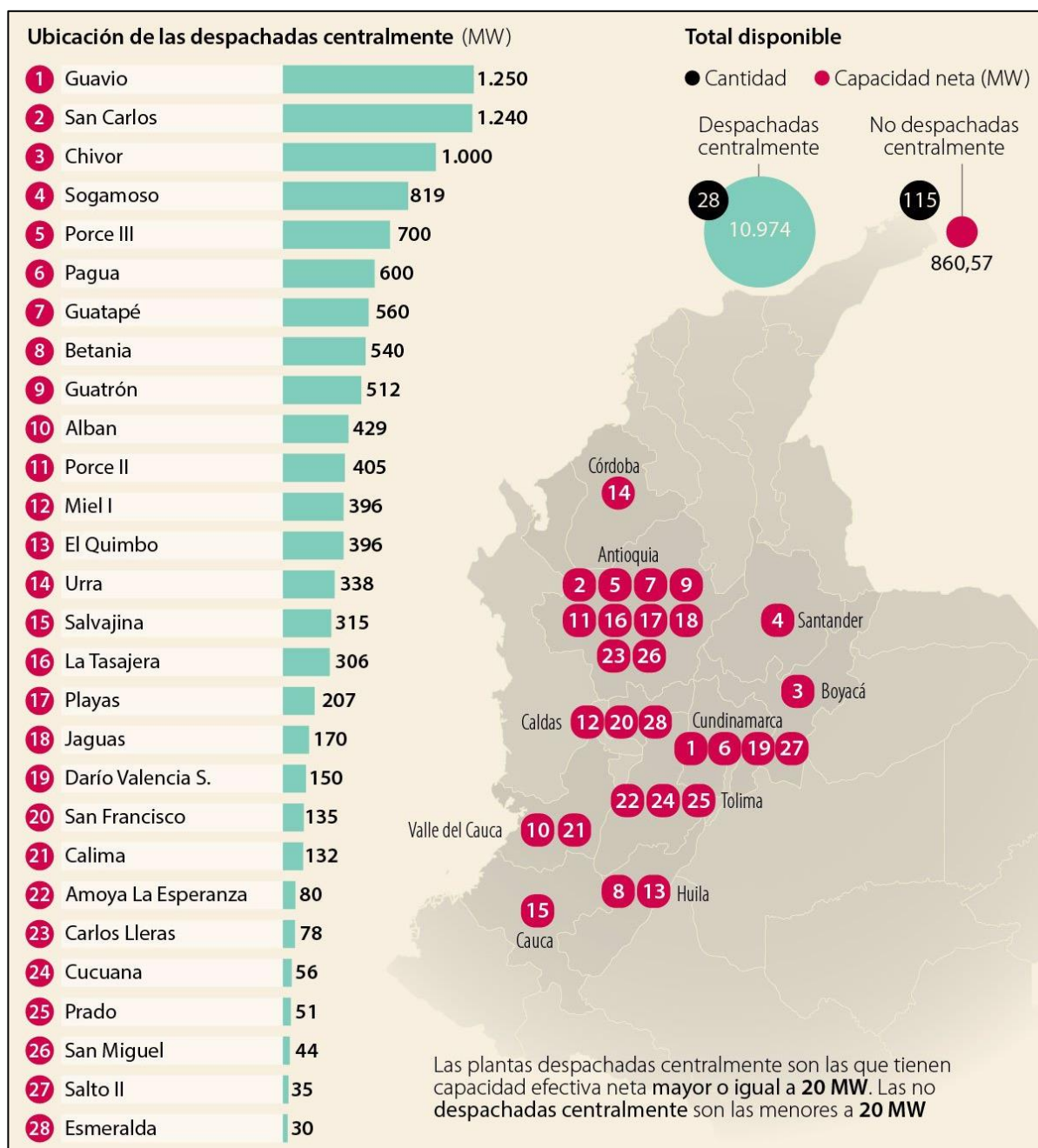


Figura 5. Oferta hidroeléctrica en Colombia.
Fuente: XM/Acolgen

5.5 Importancia de las Metodologías

Las metodologías tienen como finalidad de orientar un proceso que logre ahorrar tiempo y recursos innecesarios, que consigan tener mayores rendimientos y productividad. Dentro de los cuales se pueden mencionar:

- Reuniones con expertos, listas de chequeo o verificación (*según en la etapa de cada proyecto*)
- Diagramas de flujo (*identificar la acción humana, efectos ambientales e impactos ambientales*)
- Revisión de cartografía ambiental o superposición de mapas (*impacto individual de un territorio para obtener un impacto global*)
- Redes (*permite hacer un resumen global que resalte impactos particulares*) y matrices causa-efecto (*impacto ambiental vs acciones del proyecto*), mediante métodos paramétricos (*variables a evaluar*)

Estas estrategias deben permitir que los resultados puedan ser llevados a modelos matemáticos que puedan definir resultados cuantitativos y que logren ser comparados para proponer posibles alternativas de mitigación y ponderar realmente los impactos generados en cada etapa del proyecto (*Espinoza and Alzina 2002*).

Al igual que pueden permitir definir de manera eficiente la jerarquía que se le da a cada componente o parámetro que interviene en el análisis de los impactos desde un contexto ambiental y una correcta caracterización de las condiciones del ecosistema a intervenir.

5.6 Plan Energético Nacional de Panamá

Como marco histórico de proyectos hidroeléctricos en Panamá, dentro del Plan Energético Nacional de Panamá, se afirma que “la producción y el uso de energía no es la única actividad que afecta el ambiente”. Existen otras actividades tales como la deforestación, el mal uso de tierras, la destrucción de manglares y el crecimiento descontrolado de las ciudades, los que resultan más desfavorables que la misma construcción de hidroeléctricas donde se compromete la riqueza biológica que se tiene en el país y se pone en evidencia los conflictos que pueden surgir entre el desarrollo energético y la población.

Desde la parte normativa se afirma que desde mediados de la década del setenta, la hidroenergía comenzó a tener una participación creciente en el balance de energía primaria aumentando su constancia en el tiempo como resultado de las políticas de Estado dirigidas a desarrollar el potencial hidroeléctrico del país para reducir la dependencia del petróleo importado⁸ y de ahí la necesidad de preservar las cuencas para asegurar la creación de las centrales que cuenten con el suficiente caudal para producir energía. Después de las reformas del sector eléctrico de 1997-98, el desarrollo hidroeléctrico continuó esta vez bajo la iniciativa privada.

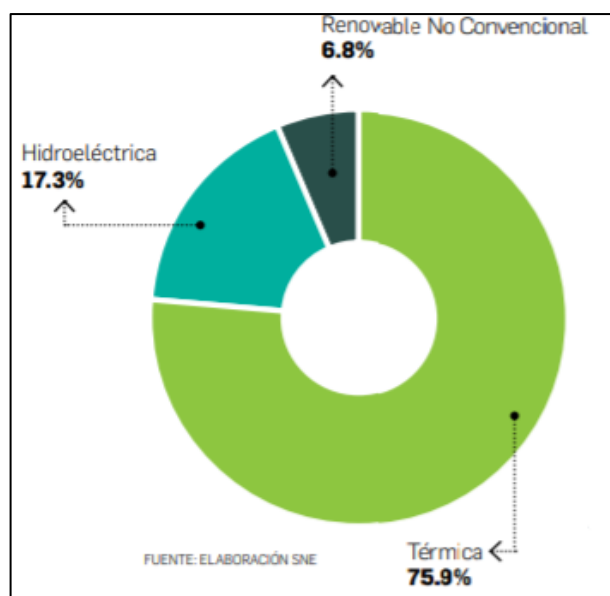


Figura 6. Capacidad instalada a 2050.
Fuente: (Secretaría Nacional de Energía 2017)

El escenario de la capacidad instalada a 2050 (Figura 6), muestra como las plantas térmicas llegarían a representar el 75.9% de la generación total. Por tanto,

⁸ En la actualidad el 70% de la oferta energética total proviene de las importaciones de petróleo.

se aconseja evaluar si vale la pena arriesgar la generación de energía limpia⁹ como combustibles fósiles y existencia de hidrocarburos (petróleo y gas), pero sobre todo hace el llamado al seguimiento de los impactos ambientales y mejorar la participación de actores privados, comunidades y el sector público (*Secretaría Nacional de Energía, 2017*).

El sistema energético ha venido creciendo, pero propone reevaluar el potencial de generación hidroeléctrico (fuentes renovables) comparado con los costos generados¹⁰, que no son comparables con las plantas de generación a base de carbón y gas natural (fuentes no renovables). Un ejemplo muy claro de sustituir el aprovechamiento de las fuentes resulta ser la producción de energía anual en una planta hidroeléctrica, con 103,1 millones de MWh generados en 2016 y para producir esa misma cantidad de energía, se necesitarían unos 500 000 barriles de petróleo diarios (United Nations Climate Change, 2018).

5.7 Potencial hidroenergético de Colombia

Los proyectos hidroeléctricos deben presentar una copia del registro correspondiente expedido por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), quienes establecen si el proyecto presentado por el promotor hace un uso eficiente del recurso hidroenergético, para lo cual debe calcularse si el proyecto aprovecha al menos el 60% de la energía disponible en la cuenca, y ayudar a la Autoridad Ambiental a establecer cuál es la alternativa ambientalmente más viable, teniendo en cuenta la variable energética (UMPE, 2019).

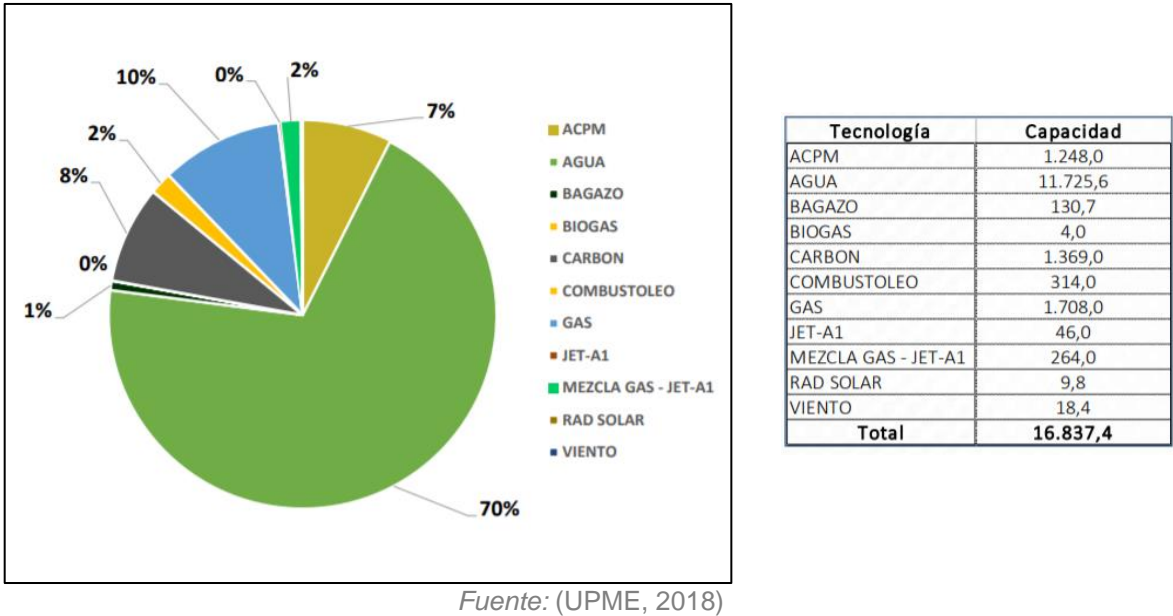
A septiembre de 2019 la UPME ha analizado cerca de 142 proyectos, los cuales son presentados en su gran mayoría ante autoridades ambientales como la ANLA, Corantioquia y Corpourabá, lo que demuestra no solo la demanda en un sector específico sino también una gran oportunidad en cuanto a las condiciones geográficas e hidráulicas de la zona de la región andina y caribe para el desarrollo de este tipo de proyectos.

⁹ El 70% de su electricidad es de fuentes renovables mediante hidroeléctricas, seguida de la leña y recientemente energía eólica, oportuna en épocas seca y mejor registro de vientos sustituyendo la hidroeléctrica por falta de precipitación.

¹⁰ No se define solo costos de construcción sino de la dificultad de conexión a la red que encarecen el suministro, lo que obliga al Estado a subsidiar el abastecimiento a las comunidades.

Como bien se afirma, tales proyectos están enmarcados en un mecanismo de mercado o demanda, pero desde el ordenamiento del recurso, las entidades competentes (*Planes estratégicos de macro-cuencas, POMCA, Planes de Ordenamiento Territorial (POT) a cargo de los municipios*) deben regular el uso de la cuenca y del recurso hídrico reconociendo la expansión y la proyección de la capacidad energética a 2050 (ver Figura 7).

Figura 7. Capacidad Instalada de Energía Eléctrica



La Figura 8 representa la distribución espacial del potencial hidroenergético del territorio colombiano calculado para generación hidroeléctrica de filo de agua, obtenida a partir del caudal medio y de la topografía del modelo de elevación digital. Permite evidenciar un potencial de 56 GW distribuido en todo el país (UPME, 2018). De la cual se puede evidenciar el gran potencial respecto a su extensión y condiciones de relieve en gran parte la región del Amazonas y la Orinoquia, además de sectores puntuales de la región andina-caribe.

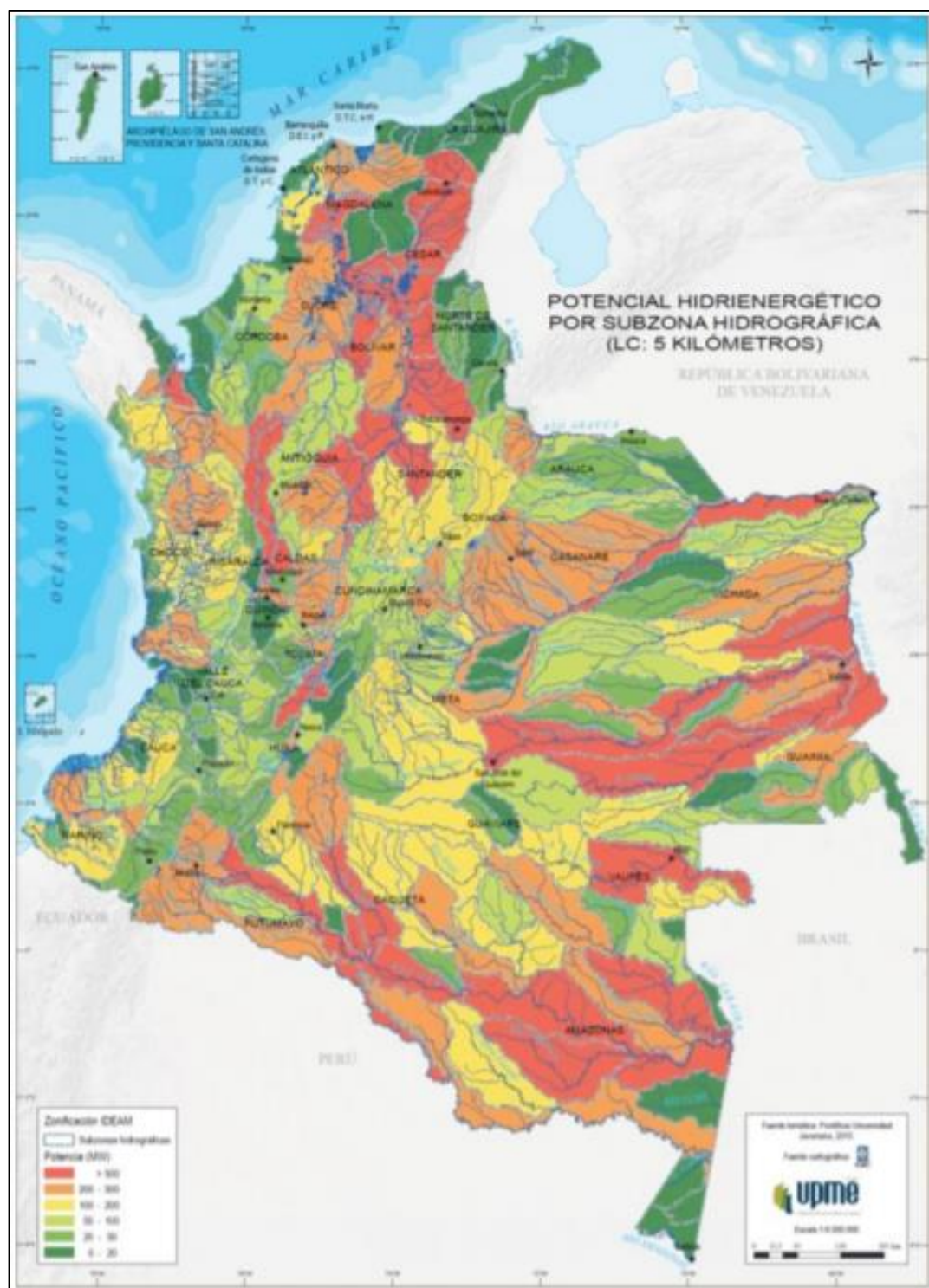


Figura 8. Potencial hidroenergético de Colombia
Fuente: Atlas hidropotencial Ideam /UPME

6 MARCO CONCEPTUAL

Para comprender la necesidad de desarrollar alternativas sustentables de energía hidráulica en Panamá, es necesario ver el contexto de las condiciones en que se encuentra el territorio. La cuenca hidrográfica del Canal de Panamá tiene 333.849,5 Ha drenadas por 6 ríos (*Bayano, Tuira, Chucunaque, La Villa, Indio y Chagres*) donde El Chagres (*125 km entre Panamá y Colón*) son los ríos más grandes y representan la esorrentía de la cuenca juntos con sus tres lagos artificiales (Gatún, Bayano y Alajuela) que conforman el sistema hídrico del país.

De la misma manera, son importantes ríos como La Villa, del cual se extrae agua para potabilizar y dotar parte de las provincias de Herrera y Los Santos, y también está el Río Bayano, necesario para la dotación de energía eléctrica por el proyecto hidroeléctrico Bayano, que abastece la región metropolitana de Panamá.

El Lago Alajuela recibe la entrada de algunos afluentes y sus las salidas contribuyen al suministro de agua municipal y el Lago Gatún, que es usado principalmente para el funcionamiento de las esclusas en las costas Atlántico y Pacífico. Es preciso resaltar que, de las 101 pulgadas de precipitación total de la cuenca, 40 queda en infiltración y agua subterránea, 6 se evaporan de la superficie del lago, 4 hacen parte de las descargas de aliviadero necesarias durante los períodos de alto flujo. Del 51 restante, 31 se usan para bloqueos 17 para energía hidroeléctrica y solo 3 pulgadas satisfacen el suministro de agua. Por lo anterior, se demuestra la necesidad de proyectos que incentiven el aprovechamiento de las fuentes hídricas en Panamá (*Pabst, 2000*).

Actualmente se evalúan alternativas para dar solución al abastecimiento de agua potable subterránea, pero por otro lado se propone el aprovechamiento de aguas subterráneas. La cual ha sido explotada de manera empírica y aislada, sin estudios hidrogeológicos previos que garanticen la sostenibilidad del recurso ante posibles contaminantes, sobreexplotación o hasta intrusión salina (*Minitas, 2015*).

La Autoridad Nacional del Ambiente, como entidad reguladora de la calidad del agua, dentro de su plan de gestión (2010-2030) realiza monitores constantes tanto a los ríos como a las cuencas hidrográficas, y reconoce algunas fuentes como desarrollo socioeconómico (*abastecimiento de agua potable, uso recreativo, uso para descargar aguas residuales, etc.*), pero también fuentes con potencial de proyectos de saneamiento futuros por alto grado de contaminación que podrían convertirse en fuente de abastecimiento de la capital con sus respectivas medidas de prevención (*Minitas, 2015*).

Como impacto social, es importante conocer el caso particular de Panamá, donde el gobierno actualmente estudia la posibilidad para la ejecución de proyectos hidroeléctricos y manejo de recursos hídricos en la comarca Ngäbe Bugle en la costa Norte del país. A raíz de esto, el gobierno ha venido presentando conflictos con la población indígena que allí habita, la última asegurando “nosotros no

estamos de acuerdo” afirmando que no se pretende preservar los recursos naturales de la zona. La Cacique Panameña Silva Carrera, argumenta que a pesar de que el congreso regional es el máximo organismo es el pueblo quien está en la potestad total de tomar este tipo de decisiones y no aceptara que el congreso tome algún tipo de posición frente de las concesiones hidroeléctricas (Service, 2012).

De igual manera, el gobierno panameño ha intensificado su esfuerzo con el fin de balancear el desarrollo económico del país sin dejar a un lado la protección de los recursos naturales, aunque el propósito del gobierno no ha dejado aspectos positivos ya que el trabajo que se está realizando está quedando rezagado a las expectativas propuestas debido a que las agencias guardianas encargadas frecuentemente carecen del poder necesario para proteger los recursos naturales.

Aun así, últimamente se han presentado movimientos ambientalistas en el país, lo que refleja que los panameños han empezado a notar la verdadera importancia de sus ríos, bosques y costas, y esa conciencia que relaciona los impactos ambientales, tendrá influencia en el futuro del país (Anywhere, 2019).

Por otra parte, para Colombia el tema de Hidroeléctricas como fuente de energía basada en una “política energética que promete a futuro un desarrollo eficiente en la prestación de este servicio público domiciliario”. Si bien las condiciones hídricas facilitan la ejecución de estos proyecto, también conlleva a un mayor compromiso funciones como ente regulador, planeador y de control, llevando unos lineamientos políticos y unas buenas delegaciones a entidades que aseguren la integridad en la ejecución de ese tipo de obras (C. Osorio 2018).

En definitiva, la construcción de centrales hidroeléctricas de tipo embalse, no solo presenta problemas de carácter ambiental, sino que también de carácter social, ya que genera inundación de grandes superficies de tierras (*modifican el uso de suelo*) y cambios en los ecosistemas fluviales.

Como consecuencia de lo definido anteriormente, se hace necesario que las solicitudes de Licencias Ambientales, que, en el caso de proyectos hidroeléctricos, “deban acompañarse de una serie de estudios que contemplen el entorno geográfico y sus características ambientales y sociales, un análisis comparativo de los efectos y riesgos inherentes a la obra o actividad y las posibles soluciones y medidas de control y mitigación para cada una de las alternativas”. (Rosenberg, Bodaly, and Usher, 1995).

Inclusive, es relevante la participación ciudadana como herramienta competente en lo referente a las decisiones que pueden afectar su vida económica, política, administrativa y cultural, condiciones que se pueden extrapolar a nivel Nacional (C. Osorio, 2018). “El público debe estar bien informado sobre las consecuencias ambientales y sociales del desarrollo hidroeléctrico a gran escala para reducir la brecha entre sus deseos de protección ambiental y lo que realmente está ocurriendo”(Rosenberg, Bodaly, and Usher, 1995).

6.1 Impactos ambientales de Proyectos hidroeléctricos

➤ Alteración de ecosistemas

El conjunto de poblaciones que viven en la zona de influencia del proyecto y los terrenos de inundación, se ven afectados por las obras que requieren la ejecución de proyectos hidroeléctricos y que conllevan a que los ecosistemas terrestres y acuáticos, cambien su estructura y funcionalidad en el equilibrio ecológico (Humboldt, 2015).

La alteración de los niveles de turbiedad y sedimentación en el agua, hace que las especies se adapten a ese ecosistema, pero no es su nivel natural. Los sedimentos que atrapan los embalses, priva a los deltas¹¹ de mantener los nutrientes que ayudan a hacer productivos esos *ambientes* (McAllister, Craig, and Davidson, 2001).

➤ Impactos en la actividad pesquera

La influencia de los proyectos hidroeléctricos, conlleva a una variación considerable en los rendimientos pesqueros y más cuando es una fuente económica y turística en el sector. (Humboldt, 2015) “Dejar algunos árboles puede proporcionar un hábitat para los peces, aunque dejarlos en cualquier cantidad puede plantear problemas para la pesca futura, la calidad del agua y la seguridad de las turbinas.” Las especies de agua dulce se ven severamente afectado por las represas, ya que hay pérdida del hábitat por modificaciones al régimen de flujo natural y al bloqueo de migraciones (McAllister, Craig, and Davidson, 2001).

¹¹ Los deltas son desembocaduras de ríos en las que se van depositando los sedimentos arrastrados por la corriente.

➤ **Alteración de ciclos naturales de los ríos**

La cantidad de agua descargada durante los ciclos estacionales, afectan el patrón natural del río y las características abióticas de las descargas como temperatura, oxígeno, turbidez y calidad del agua, que afectan de manera significativa la biodiversidad aguas abajo (*McAllister, Craig, and Davidson, 2001*). Más aún, en proyectos a Filo de agua donde se altera un tramo del cauce del río y que representa afectación en las corrientes, como en casos donde los drenajes afectados se utilizan para abastecimiento de la comunidad.

➤ **Afectación a patrimonio arqueológico**

En diversas ocasiones se han realizado diferentes tipos de hallazgos de elementos arqueológicos durante los movimientos de grandes cantidades de tierra, sin embargo, no hay la certeza de que todos los eventos hayan sido reportados, ya que estos para las empresas dueñas de dichos proyectos representan una demora en la ejecución del proyecto mientras se hace la exploración de la zona para la recuperación del material arqueológico importante para la cultura del país (*C. Osorio, 2018*).

➤ **Impactos sociales**

Las principales afectaciones sociales se basan en los desplazamientos generados por el cambio de las dinámicas poblacionales, la economía local y regional, ya que es sobre el ambiente social donde recae la presión de la etapa de pre construcción, que se traduce en impactos de actividades productivas, reasentamientos, incremento de enfermedades por el deterior de la calidad del agua, pérdida de conectividad entre territorios, cambio del uso de suelo, entre otros (*Viviescas Santana, 2014*).

6.2 Metodologías para evaluar impactos

En el intento de justificar la importancia que tienen las metodologías en busca de evaluar los impactos ambientales, se requiere tener el criterio y la determinación que, al ser llevado a un modelo matemático, permitan ponderar las alteraciones que genera el proyecto y que posteriormente requiere no solo alternativas de mitigación, sino de un plan de monitoreo al inicio y durante la operación del proyecto hidroeléctrico.

Dentro de las metodologías para evaluar los impactos ambientales en Colombia, se suele adaptar o modificar las que usualmente se implementan, de ahí su gran variedad (aunque para proyectos hidroeléctricos no suelen haber demasiados). Algunas de ella son las metodologías indirectas, que “son métodos que no evalúan explícitamente un impacto ambiental, sino que indirectamente valoran las consecuencias ambientales del proyecto calificando las interacciones proyecto-ambiente” (*González, 2005*):

- ✓ Matrices causa-efecto (Leopold)
- ✓ Método de Battelle Columbus
- ✓ Listas de chequeo
- ✓ Método multiobjetivo
- ✓ CNYRPAB
- ✓ Bereano
- ✓ Sonrensen
- ✓ Guías metodológicas del M.O.P.U

Y en contraparte metodologías directas, que como su nombre lo indica, evalúan directamente cada uno de los impactos. A continuación, se presentan algunas de las que más adelante se podrán detallar:

- ✓ Método EPM o método Arboleda
- ✓ Método de Conesa simplificado
- ✓ Método de Integral
- ✓ Método de los criterios relevantes integrados
- ✓ Otros métodos o combinación y adecuación de los anteriores

Con relación a lo anterior, se estudian las metodologías directas porque son empleadas luego de evaluar la línea base o caracterización de los medios físico, biótico y social, que, junto con la recolección de información primaria y cartografía de campo, permiten definir los impactos que serán insumo para el PMA.

Resulta relevante citar los conceptos dados por el ANLA respecto a la correcta evaluación de impactos, donde afirma que, en primera instancia se deben PREVENIR los impactos; si ello no resulta factible, se debe centrar su propósito en MITIGARLOS y; si no es posible desarrollar ninguna de las medidas mencionadas con anterioridad, entonces y solo entonces, se deben COMPENSAR los impactos ambientales residuales que aún permanezcan" (ANLA,2018).

7 OBJETIVOS

7.1 Objetivo general

Identificar las distintas metodologías y análisis de alternativas mediante “estudio de caso” (en Panamá y Colombia), los cuales generan soluciones frente a distintos impactos ambientales, que permiten extraer y definir una metodología que pueda implementarse en proyectos hidroeléctricos de Colombia.

7.2 Objetivos específicos

- Definir como a partir de la implementación de una mitigación de impactos ambientales, se crean problemas derivados de la solución planteada, tomando de referencia los principales usos que se le dan al agua y la calidad del recurso.
- Comparar las distintas condiciones y criterios base utilizados para la formulación y evaluación de los proyectos que permitan evidenciar falencias y proponer mejoras para poder ser llevados a proyectos hidroeléctricos en Colombia.
- Establecer una metodología que contemple de manera sistemática e interdisciplinar todos los factores que involucran la intervención al medio ambiente.

8 TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL

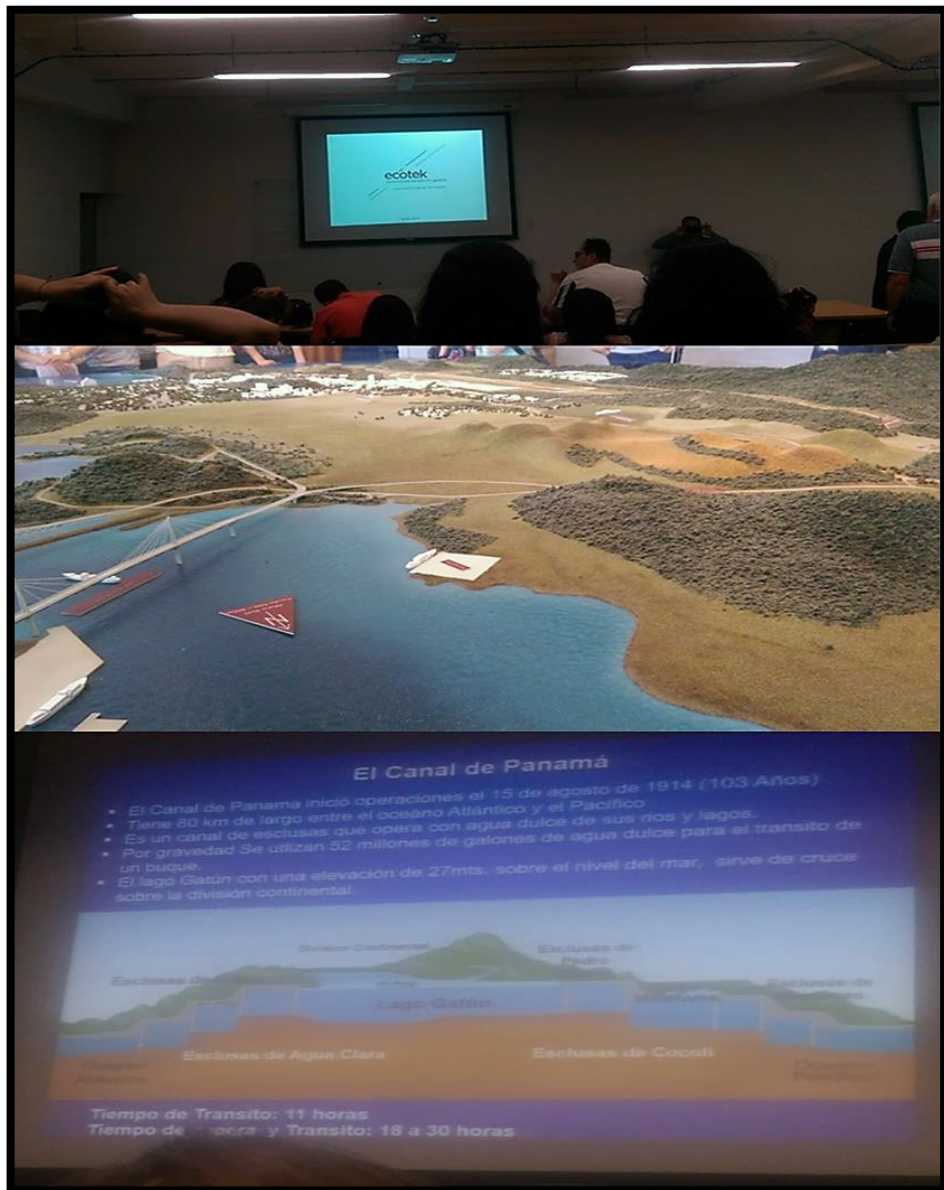
La visita técnica realizada en agosto de 2018, permitió conocer en detalle la gran diversidad de ecosistemas y condiciones en las que se desenvuelve el funcionamiento del canal de Panamá. El funcionamiento de las esclusas de Miraflores (Fotografía 1), siendo una de las tres esclusas que forman parte del canal (junto con Pedro Miguel y Miraflores), tiene un sistema complejo de operación y condiciones hidráulicas que permiten el tránsito de grandes buques de carga que a diario cruzan por el canal.



Fotografía 1. Esclusas de Miraflores

Además, en algunas charlas y conferencias (Fotografía 2), se tuvo la oportunidad de conocer la proyección de nuevas obras que hacen del canal un sistema más

eficiente, como por ejemplo la ampliación del canal prenda manejar tinas de reutilización con las que permitan minimizar el consumo de agua requerido y busca recircular el agua brindando el mismo servicio. Algunas charlas en el complejo de Panamá Pacífico dejan ver la misión de hacer del canal un gran puerto de producción y distribución de todo tipo de mercancía brindando oportunidades al emprendimiento de inversionistas y también oportunidades laborales para todos sus habitantes.



Fotografía 2. Conferencias complejo Panamá Pacífico

La información aportada por los ponentes y la persona que estuvo de guía durante la visita técnica, permitió resaltar los problemas que se tienen actualmente en cuanto al manejo de las cuencas y el uso del agua. El lago Gatún es el cuerpo de

agua artificial más importante para la operación del canal (Fotografía 3), pero que, por otro lado, actualmente se usa tanto para riego como para el mismo consumo.

Por lo anterior, actualmente se desarrollan proyectos que buscan quitarle esa carga de consumo al lago Gatún y solucionar el desabastecimiento en algunos sectores como el oeste, en el que funciona la potabilizadora de Mendoza y no solo en ese sector, sino que busca rehabilitar mini presas y proyectos multipropósito que den solución a la necesidad de cobertura de agua potable estructurado desde el manejo de las cuencas.

Resulta ser una situación similar a la que se vive en Colombia, aunque también se busca el aprovechamiento del recurso para producción de energía lo que para Panamá no es un tema de interés ya que el canal produce tanta energía como para vender una parte al estado y unirse al sistema interconectado nacional.

De igual manera, es una realidad que Colombia es un experimentado en este tipo de proyectos y sin embargo hay mucho que aprender de las experiencias como diseñadores de proyectos de infraestructura robustos que dan solución a una necesidad, pero generan otros problemas asociados y no esperados, esto a causa de una mala planeación, tal vez falta de gestión, seguimiento y control hasta un buen análisis de todos los factores que componen y cambian el equilibrio del ambiente.

Finalmente, se encuentra la relación y el enfoque de la investigación y más aún cuando se conoce que ese tipo de proyectos que se desarrollan en Panamá, también son diseñados por empresas colombianas pioneras en temas ambientales y que puede resultar un tema genérico y sistemático el evaluar los impactos ambientales, de cómo mitigarlos o controlarlos. Parte de lo que se define anteriormente se puede ver de manera detallada en capítulos posteriores.



Fotografía 3. Circuito urbano y parte del lago Gatún

9 DESARROLLO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

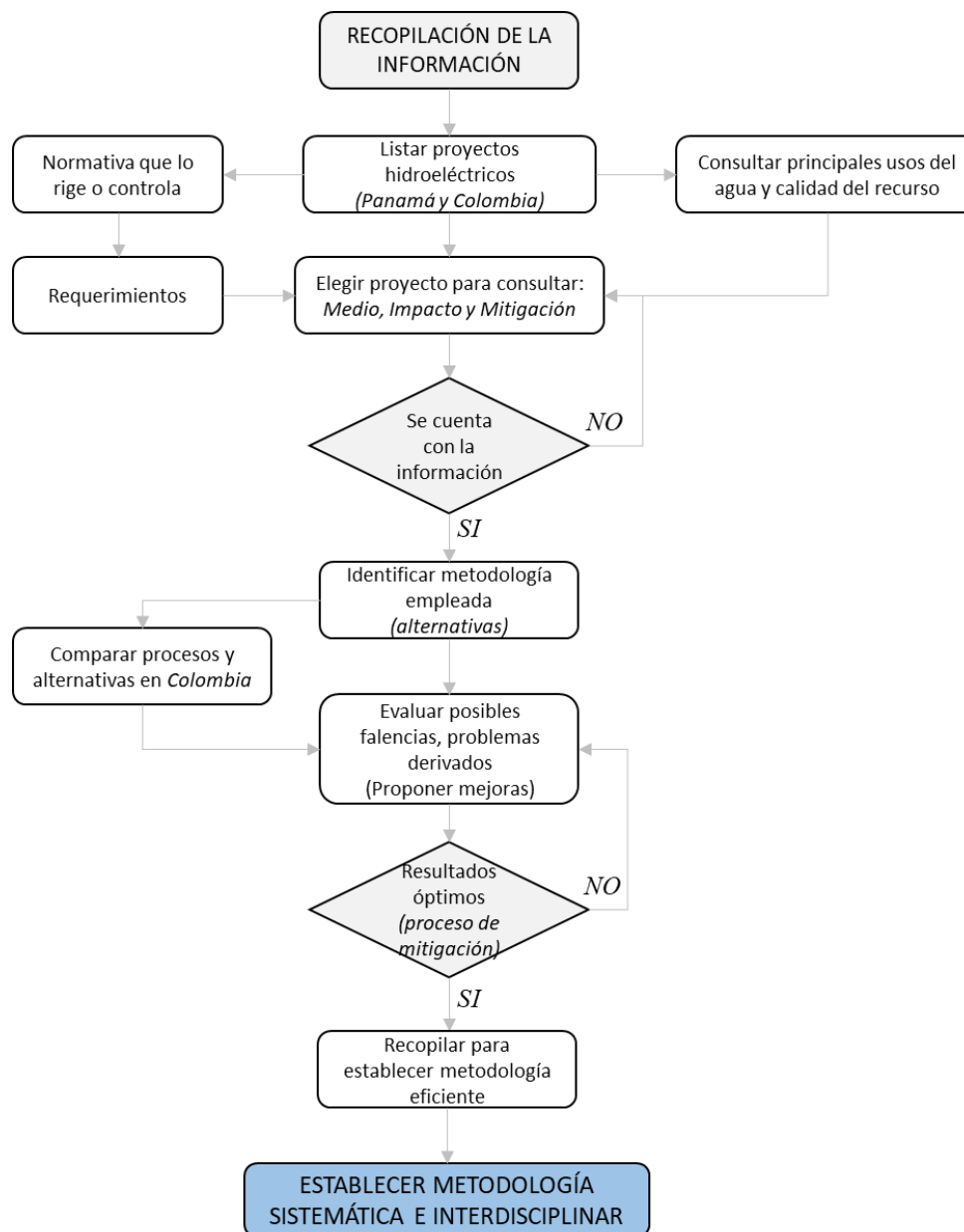


Figura 9. Metodología de estudio presentada en la propuesta de anteproyecto

Dando cumplimiento a la metodología de estudio a implementar presentada en la propuesta de anteproyecto (ver Figura 9), en la Tabla 3 se relacionan las distintas normativas que rigen a los proyectos hidroeléctricos y que de manera conjunta con otros documentos base que son empleados en distintos estudios ambientales requeridos por cada país y son debidamente citados en estudios ambientales consultados.

Tabla 3. Documentos y aspectos relevantes

Documento	Finalidad	Importancia
Decreto Ejecutivo No. 123 de 14 de Agosto de 2009	Reglamenta el sector ambiental de Panamá, estableciendo los principios y normas básicos para la protección, conservación y recuperación del ambiente, impulsa el uso sostenible de los recursos naturales, ordenando la gestión ambiental e integrándola a los objetivos sociales y económicos que permitan lograr el desarrollo sostenible en el país.	<i>Título III. De los Estudios de Impacto Ambiental</i>
		Capítulo I. Presenta los 5 criterios de protección ambiental a tener en cuenta en la evaluación y elaboración del EIA
		Capítulo II. Categorías de los EIA, permite clasificar el proyecto según la significancia de los impactos negativos y la manera como pueden ser eliminados, mitigados y/o compensados según su entorno.
		Capítulo III. Contenidos mínimos y términos de referencia generales de los EIA según la categoría a la que haga parte el proyecto.
		Capítulo IV. Actividades relacionadas a cada sector que ingresan en el proceso de evaluación de impactos ambiental.
Términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (EIA), en proyectos de construcción y operación de centrales generadoras de energía hidroeléctrica. 2017	Presenta lineamientos para proyectos hidroeléctricos en Colombia que requieran de una licencia ambiental (según Decreto 1076 de 2015) y los contenidos del estudio.	Capítulo 8. Evaluación ambiental, identificación y evaluación de impactos ambientales CON y SIN proyecto., valoración económica.
		Capítulo 9 y 10. Zonificación del manejo ambiental restricciones de tipo abiótico, biótico y socioeconómico) y planes de manejo, seguimiento, monitoreo, gestión del riesgo entre otros
Manual Técnico de Evaluación Ambiental (MaTEA) 2018	Tiene como propósito regular los procedimientos ambientales con el fin de asegurar el menor impacto al ambiente durante la ejecución de proyectos de la ACP.	Capítulo I. Reconocimiento inicial y evaluación del EAP y EsIA (contenidos de acuerdo a su categoría y términos de referencia para su elaboración). Plan de Acción Ambiental (PAA) y el enfoque a cada fase de operación.
		Capítulo II. Procedimiento de evaluación ambiental para EIA y Planes de Adecuación y Manejo Ambiental
Manual para la evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades (Jorge Alonso Arboleda) 2005	Material de apoyo que facilita el entendimiento y la aplicación de los conceptos y procedimientos que se requieren para adelantar la evaluación del impacto ambiental de cualquier proyecto, obra o actividad.	Capítulo 1. Conceptos clave, significancia y clasificación de los impactos
		Capítulo 3 y 4. Generalidades y métodos para la identificación de los impactos ambientales (diagrama de redes y matricial)
		Capítulo 5. Métodos para la evaluación de impactos ambientales (métodos indirectos y directos)

Fuente: Autores

Como parte de la recopilación de la información, la Tabla 4 y Tabla 5 contienen un listado completo de proyectos en Panamá y Colombia en las que no solo se verifican proyectos de concesiones tramitadas, sino también propuestas no aprobadas, algunas que ya han sido ejecutadas y otras de proyección futura, que finalmente son relacionadas con el uso del agua y la capacidad de generación de energía de cada una de ellas.

Tabla 4. Proyectos, capacidad de generación y uso del agua de proyecto en Colombia.

Proyectos en COLOMBIA					
NOMBRE	CAPACIDAD INSTALADA [MW]	USO	NOMBRE	CAPACIDAD INSTALADA [MW]	USO
Tominé	Embalse	Abastecimiento de agua potable	Chisacá	Embalse	Abastecimiento de agua potable
Sisga			El Muña		
San Rafael			Guacheneque		
La Regadera			Los Tunjos		
Chingaza			Neusa		
Calima	132.0	Generación de energía eléctrica	Anchicayá	360.0	Generación de energía eléctrica
El Peñol (Guatapé)	560.0		Betania	540.0	
El Quimbo	400.0		Calderas	26.0	
Guavio	1250.0		Chivor	1000.0	
Ituango	2400.0		Guadalupe III y IV	486.0	
La Miel I y II	396.0		Jaguas	170.0	
Amaime	19.9		Prado	429.0	
Carlos Llera Restrepo	78.2		Escuela de Minas	55.0	
San Carlos	1240.0		Río Grande	75.0	
Porce II	405.0		Salvajina	285.0	
Porce III	660.0		San Carlos (Porvenir II)	352.0	
Río Sogamoso	820.0		Troneras	40.0	
Urrá I	340.0		Talasa	75.0	
PCH San Andrés*	19.9		PCH Río Piedras	19.9	
PCH Cali I y II	1.8		Cucuana	58.0	
Rumor	2.5		La Esperanza	80.0	
Riofrío I y II	17.0		Tuluá	20.0	
			Nima I y II	6.7	
La Copa	Embalse	Riego	El Hato	Embalse	Riego
El Juncal			Ranchería		
Tebesa	877.0	Termoeléctrico	Termotasajero	163.0	Termoeléctrico
Termosierra	455.0		Termopaipa	165.0	
Termoflores	441.0		Termoguajira	151.0	
Termomcali	233.8		Termobarranca	145.0	
Termovalle	205.0		Termozipa	70.0	
Termocartagena	179.0		Proeléctrica	68.8	
			Termoguandalay	53.0	
Merilétrica	169.0		Termodorada	50.0	

Fuente: Autores-modificado de (Tobón, 2016), (Nausan, 2012) y otras.

*Proyecto seleccionado para la caracterización y análisis de la metodología que evalúa los impactos ambientales

Tabla 5. Proyectos, capacidad de generación y uso del agua de proyecto en Panamá.

Proyectos en PANAMÁ					
NOMBRE	CAPACIDAD INSTALADA [MW]	USO	NOMBRE	CAPACIDAD INSTALADA [MW]	USO
La Villa Reservorio	Presas derivadoras	Abastecimiento de agua potable	Multipropósito Valle de Tonosí	Presas derivadoras	Abastecimiento de agua potable, riego, turismo
Azuero Reservorios	Parita, Perales y Santa María		Reservorio Multipropósito Rio Indio	Presas derivadoras (manejo de la cuenca)	
Bayano	Conducción potabilizadora o “trasvase de agua”				
RP-550 (Macáno II)*	4.15	Generación de energía eléctrica	Gatún	24.0	Generación de energía eléctrica
Palmira*	6.031		Madden	36.0	
Río Piedra	9.0		Centrales Gualaca, Lorena y Prudencia	118.0	
Analida	4.0				
Miraflores	163.0	Termoeléctrico	Colón	31.83	Termoeléctrico

Fuente: Autores-modificado de (Tobón, 2016), (International, 2016).

*Proyecto seleccionado para la caracterización y análisis de la metodología que evalúa los impactos ambientales

Para los diferentes proyectos consultados, se evidencia que la caracterización de las condiciones de la zona a intervenir (factores ambientales), deben convertirse en la justificación con la que se parte para definir los impactos ambientales y soportado en el análisis de factores que permitan ponderar cada parámetro dentro de un rango de calificación. Basados en los criterios y metodologías que se implementaron en esos estudios encontrados, se seleccionan algunos de ellos para su posterior análisis.

Sin embargo, la necesidad de la evaluación ambiental en la formulación del proyecto debe tener como fin poder incorporar esas medidas al diseño del mismo, aunque la realidad sea otra. En la gran mayoría de casos la definición de las condiciones adecuadas para implantar un proyecto hidroeléctrico, se limitan a ciertos aspectos como:

- Un sitio geográfico que tenga un relieve (*topografía*) que permita generar una caída de agua considerable.
- Evaluar los recursos o capacidad hidráulica (*define la producción energética*)
- Posibilidad de tener un área inundable y distintas alternativas de diseño (*sensibilidad ambiental y social*)
- Análisis del ambiente físico (*geología, geomorfología, suelos, clima, hidrología*)

- Amenazas naturales (*tectónica y movimientos en masa*)
- Evaluación de efectos ambientales
- Financiamiento y estudio económico
- Requisitos y procedimientos administrativos (*Intervención política*)
- *Concertación de las medidas de manejo con las comunidades y autoridades ambientales*

También resulta necesario no limitarse a responder a una necesidad haciendo rentable el proyecto, sino que debe propiciar el análisis de su entorno en las etapas siguientes (*Factibilidad, construcción y operación*). Un proyecto rentable no necesariamente es sostenible, entendiendo la sostenibilidad como la manera en que se garantiza la capacidad de continuar generando beneficios en el tiempo.

Por lo anterior, resulta necesario identificar y evaluar de manera eficiente, los impactos que pueden generarse con cada fase de ejecución del proyecto y que permitan no solo medidas de mitigación sino también de monitoreo constante que permitan asegurar que no se agoten o dañen los recursos necesarios para la operación del proyecto hidroeléctrico haciéndolo insostenible. Parte de lograr ese fin, es importante definir que no resulta ser un análisis solo técnico, sino que deben intervenir todos los beneficiados del proyecto (RuralInvest, 2007).

Partiendo de reconocer que la generación de energía con proyectos hidroeléctricos es susceptible ante cambios climáticos y que fenómenos como El Niño pueden generar efectos económicos por la dependencia del recurso para diversidad de procesos, es necesario encontrar la manera en que el análisis de impactos contemple de manera sistemática y completa las afectaciones que puedan generar tanto su construcción como operación sobre los tres ejes de la sostenibilidad: eje ambiental, eje económico y eje social (Tobón, 2016).

Tal investigación finalmente debe favorecer la viabilidad de los proyectos de aprovechamiento de recursos renovables que pretendan reemplazar otras técnicas de producción de energía más contaminantes por procesos que aseguren tanto rentabilidad como desarrollo sostenible y sustentable.

9.1 Normatividad

En la Tabla 6 se relacionan los criterios citados en el Decreto Ejecutivo No. 123 de 14 de agosto de 2009 según los contenidos mínimos que debe tener el EIA de cada proyecto de acuerdo a su categoría y de igual manera se presentan los criterios a tener en cuenta para la evaluación ambiental de proyectos en Colombia según los Términos de referencia para la elaboración del EIA en proyectos de construcción y operación de centrales generadoras de energía de la ANLA.

Tabla 6. Contenidos solicitados en la legislación de cada país

Panamá	Colombia
<p>Identificación de los impactos ambientales específicos, su carácter, grado de perturbación, importancia ambiental, riesgo de ocurrencia, extensión del área, duración y reversibilidad entre otros.</p> <p>El análisis de los impactos debe procurar, en la medida de lo posible, la cuantificación de los mismos, mediante cálculos, estimaciones, simulaciones, modelajes y otras herramientas requeridas para ello.</p> <p>Análisis, valoración y jerarquización de los impactos positivos y negativos derivados de la ejecución del proyecto.</p>	<p>Los criterios para la evaluación cuantitativa y cualitativa pueden ser de carácter, cobertura, magnitud, duración intensidad, reversibilidad, recuperabilidad, periodicidad, tendencia, tipo y posibilidad de ocurrencia entre otros.</p>
	<p>Debe contemplar impactos de recursos terrestres, hidrobiológicos y pesqueros del área de influencia. Alteración hidrodinámica del cuerpo de agua del tramo agua abajo y efectos en la producción y patrones migratorios de las especies de peces. Calidad y cantidad del recurso hídrico. Generación de sedimentos.</p>
	<p>Evaluar la afectación de los bosques riparios¹² y las rondas de protección de las fuentes de agua a intervenir.</p>
	<p>Impactos residuales y acumulativos sobre los ecosistemas respecto a los impactos existentes, planeados y/o futuros.</p>
<p>Metodologías usadas en función de: a) la naturaleza de acción emprendida, b) las variables ambientales afectadas, y c) las características ambientales del área de influencia involucrada</p>	<p>Detallar las metodologías de evaluación empleadas, los criterios de valoración y escala espacial y temporal de la valoración. Debe contar con las categorías que faciliten la ponderación cualitativa y cuantitativa de los impactos.</p>
	<p>Para valorar y jerarquizar los impactos, se toma como referencia la afectación que tienen sobre los diferentes medios y límites permisibles de contaminantes.</p>
<p>Análisis de los impactos sociales y económicos a la comunidad producidos por el Proyecto.</p>	<p>En la evaluación ambiental se debe incorporar las percepciones, comentarios e impactos que resulten de procesos participativos con las comunidades, organizaciones y autoridades de componentes socioeconómicos.</p>
	<p>Luego de tener los impactos, se debe delimitar nuevamente el área de influencia que se tenía como preliminar.</p>

Fuente: Autores

Si bien para Colombia se solicitan requerimientos mucho más específicos y completos, lo que no quiere decir que sean los suficientes, pero comparado con lo

¹² Los bosques riparios o de galería son los bosques ligados a la ribera de un río (o barranco). Estos bosques destacan ya que sus necesidades de agua se cubren principalmente por la humedad del suelo, por lo que se pueden ver siguiendo el curso del río rodeadas de un entorno mucho más árido.

que se exige en Panamá, existe una gran ventaja ya que mucho de lo que piden en ese país es complementado con lo que se exige aquí en Colombia.

Actualmente en Colombia se realiza un exhaustivo proceso para cumplir con el Manual de Evaluación de Impacto Ambiental que se podría definir como el carácter preventivo para identificar las consecuencias en la ejecución y funcionamiento de los proyectos, el cual es regido por la legislación colombiana decreto 1220 de 2005, ley 99 de 1993, el cual tiene como fin generar el debido estudio de la afectación que cualquier proyecto hidroeléctrico y poder valorar la viabilidad con el otorgamiento de licencia ambiental.

La legislación plantea diferentes aspectos a tener en cuenta que dependen de las características generales del proyecto:

- EIA para proyectos de actividades propuestas
- EIA para proyectos en régimen de transición
- EIA para proyectos que no producen impacto ambiental significativo

Es de vital importancia conocer las características principales y las bases de los diferentes proyectos, para así identificar los aspectos en los que pueda llegar a generar una consecuencia en su periodo de ejecución o de operación, generando así los Diagnósticos Ambientales de Alternativas (DAA) y Estudios de Impacto Ambiental (EsIA).

Por otro lado, aquellos proyectos que no generan un impacto ambiental significativo, podrán mitigar o controlar de manera más sencilla, pero aun así se deberá realizar lo que se conoce como Plan de Manejo Ambiental (PMA) y Documentos de Evaluación y Manejo Ambiental (DEMAs).

Actualmente los requerimientos a seguir para realizar un EIA en Colombia son relativamente amplios y rigurosos, contando con una gran variedad de aspectos a respetar y analizar en todas las diferentes etapas y fases del proyecto. Planeación y Estudios, Construcción y ejecución, Operación y mantenimiento, contar con varias etapas hace posible obtener resultados bastante reales de los aspectos ambientales que se verán afectados para así generar los respectivos planes de mitigación, todas y cada una de las fases del proyecto son importantes y es allí donde se realizan los diferentes estudios.

➤ **Planeación y estudios**

- Reconocimiento - Estudio de Reconocimiento Ambiental General.
- Pre factibilidad - Corresponde al DAA.
- Factibilidad - Corresponde al EsIA.
- Diseño - se realizan ajustes al EsIA dependiendo de los cambios durante el diseño.

➤ **Construcción y ejecución.**

Se Realiza el plan de implementación de medidas de manejo ambiental (PIMMA) que define las características y pasos a seguir en la evaluación ambiental de construcción por parte del contratista o ejecutor del proyecto, es allí donde se reflejara las actividades que se deberán realizar para implementar de la manera más correcta la evaluación y determinación de dichos aspectos.

➤ **Operación y mantenimiento.**

Se realizará el PIMMA pero en estas condiciones se deberán tener en cuenta los aspectos de operación y mantenimiento.

Para determinar los respectivos planes de mitigación es necesario analizar varios aspectos que puedan llegar a modificarla eventualmente o sean vitales para definirla inicialmente. Uno de los aspectos importantes son las acciones susceptibles a producir impacto (ASPI) que podrían ser significativas o relevantes, excluyentes o independientes de otras, identificables y ubicables, cuantificables, que se presenten en el ciclo de vida del proyecto, algunas podrían contemplar un marco más amplio y presentar varias características antes mencionadas.

El EIA establece que es importante determinar la relación que se presentara entre el proyecto, el ambiente y los diferentes aspectos ambientales que interactúan modificando sus condiciones naturales.

➤ **Relaciones**

- *Insumos:* Materias primas, requerimiento de energía y requerimientos de agua para ejecución.
- *Procesos:* Actividades de construcción y operación contemplando maquinaria, tecnología y mano de obra que interactúe con el medio ambiente.
- *Productos:* Almacenamiento y transporte.

➤ **Aspectos Ambientales**

- *Vertimientos:* Aguas de proceso, lavado y Domesticas.
- *Emisiones:* Material particulado, gases, olores ofensivos, ruido y calor.
- *Residuos:* Aprovechables, no aprovechables y peligrosos o especiales.
- *Consumos:* Agua, energía, materias primas y combustibles.
- *Peligros:* Explosión, incendio, derrame, fuga, inundación y accidente vehicular.

Para realizar el respectivo estudio técnico-económico del proyecto y definir su viabilidad, es importante realizar el análisis y descripción de las obras principales y los diferentes procesos constructivos, ya que serán la base para generar los respectivos planes de mitigación, por medio de la descripción de las Acciones Susceptibles a Producir Impacto (ASPI), que dependen de muchos factores.

Estos factores serán evaluados y calificados por medio de una matriz de doble entrada que identifique los impactos ambientales que aplican según el proyecto y así determinar las partes que se verán afectadas y las acciones que generaran dicho efecto, clasificándolas según los siguientes aspectos:

1. Clase.
2. Intensidad.
3. Extensión.
4. Momento.
5. Duración.
6. Reversibilidad.
7. Recuperabilidad.
8. Relación causa-efecto.
9. Interacción de los efectos.
10. Periodicidad.

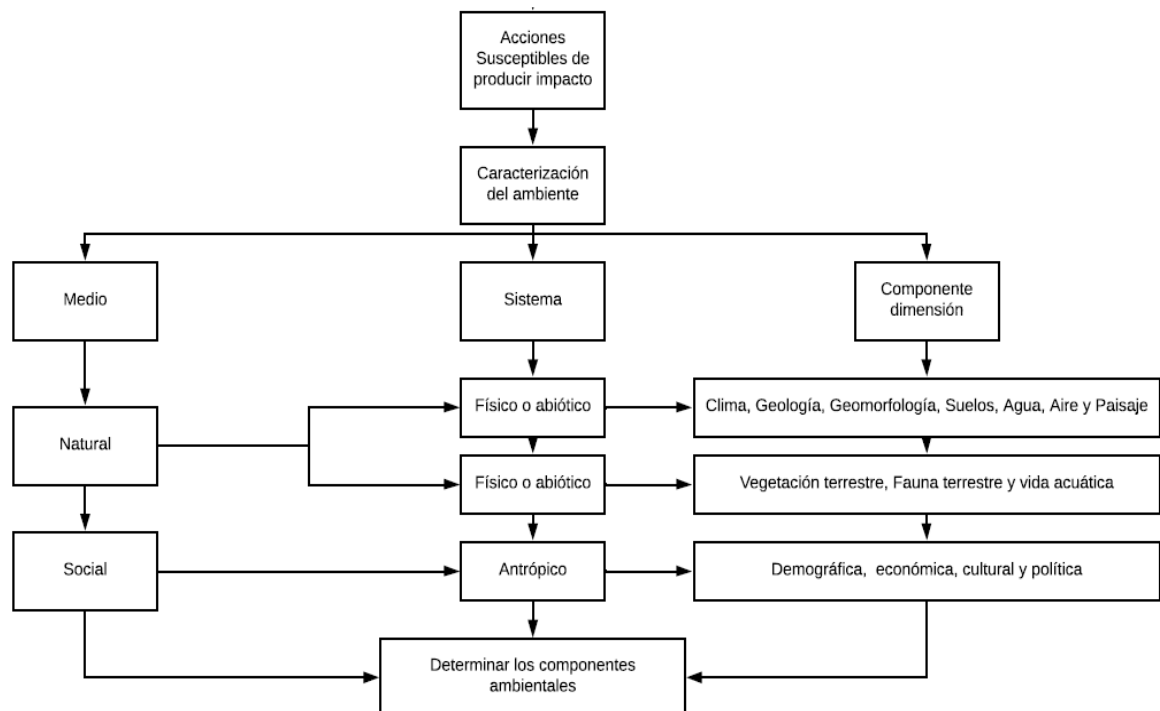


Figura 10. Aspectos que se tienen en cuenta para definir las ASPI
Fuente: Autores

Basado en los criterios de la Figura 10, en Panamá se rige un sistema de control y evaluación similar tomado como referencia el Manual de Evaluación Ambiental (MaTEA) utilizada como la herramienta de apoyo para el análisis y toma de

decisiones en la etapa de estudios, planificación e implementación de políticas para planes de proyectos (ver Figura 11), donde se consideran los impactos ambientales que se puedan generar ésta estructurado en 3 capítulos:

- **Capítulo 1:** En este capítulo se realiza el reconocimiento inicial de las condiciones ambientales que presenta la zona específica y aledañas donde se llevara a cabo el proyecto, revisando y analizando así toda la información disponible, ubicación, características de la zona y complejidad del proyecto son los temas más importantes por analizar en esta etapa.
- **Capítulo 2:** En esta parte del estudio se realiza la evaluación de los estudios de impacto ambiental y se realizan los programas de adecuación, manejo ambiental y auditorías ambientales monitoreadas por el ministerio de ambiente.

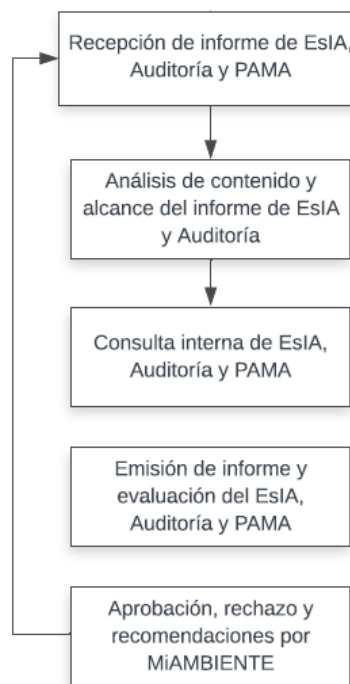


Figura 11. Proceso realización de informes y auditorías
Fuente: Autores

- **Capítulo 3:** Una vez aprobados los estudios y planes de manejo ambiental se debe realizar auditorías de inspección ambiental y cumplimiento (IAC) donde se dará seguimiento a los planes de manejo ambiental propuestos, adicionalmente se planteara el cronograma y programación de actividades donde se coordinaran las visitas de campo y generaran informes de cumplimiento o incumplimiento, la frecuencia se las visitas y entregas de informes se establecerá a partir de la complejidad y ubicación del proyecto.

En la Figura 12 se puede evidenciar en resumen los procesos llevados a cabo para poder clasificar el tipo de EslA que se debe implementar posterior a la evaluación de las necesidades del proyecto y la definición del área de influencia basada en la ejecución de cada obra requerida.

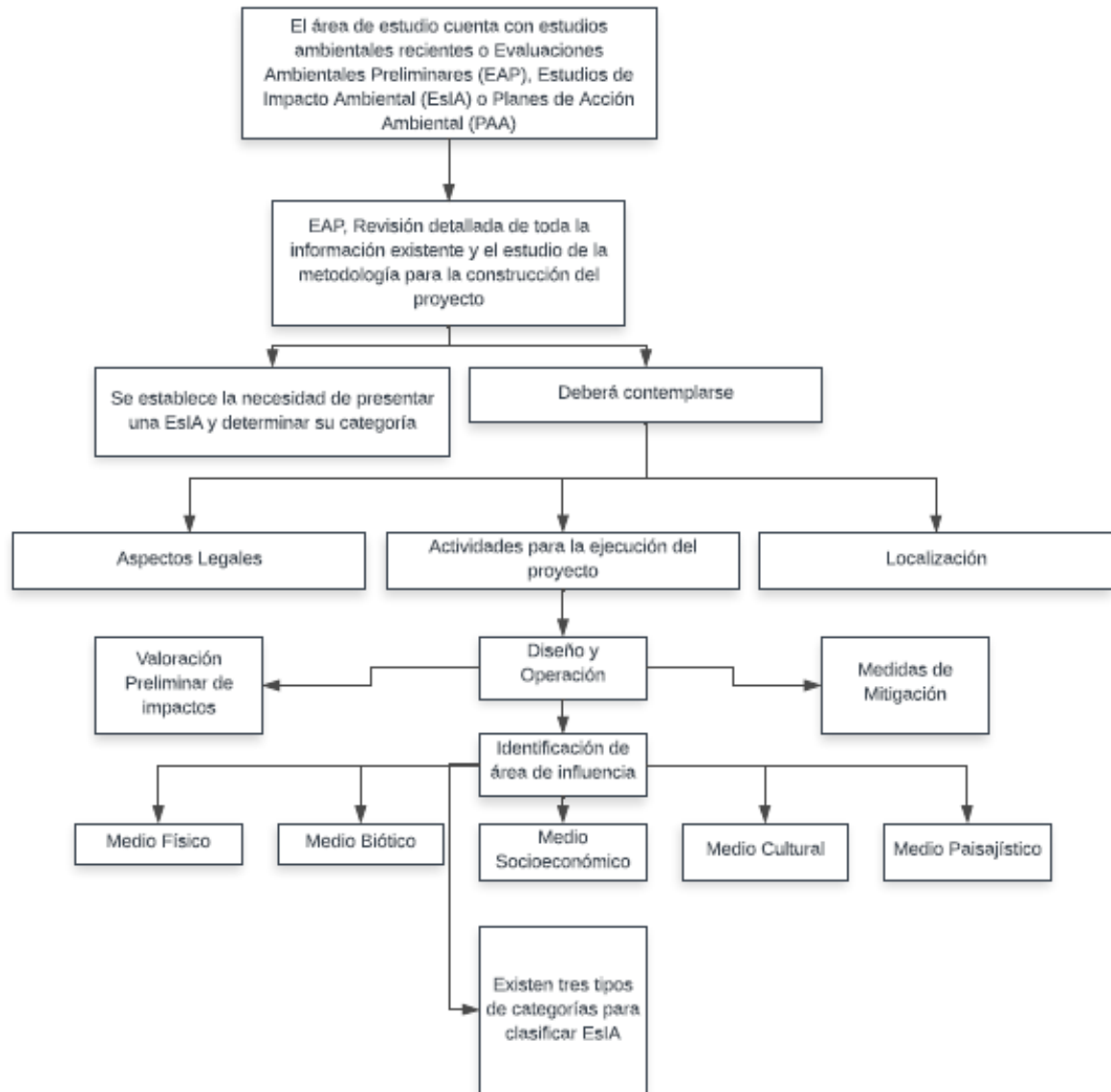


Figura 12. Proceso y valoración de aspectos para EslA
Fuente: Autores

9.1.1 Metodologías a evaluar

Para realizar una comparación de las condiciones y parámetros que son usados en EIA de Panamá y Colombia, se consultó algunos de los proyectos licenciados y ejecutados en cada país que permitan definir similitudes o por el contrario un criterio diferente de evaluar cada parámetro.

Para Colombia se centró en analizar específicamente los métodos directos de EPM o método de Arboleda y algunos criterios integrados en la metodología de Ingetec¹³. Y para Panamá, se estudian las consideraciones de estudios implementados en un EIA categoría III de la Central Hidroeléctrica Palmira y Macano II, proyectos a filo de agua que aprovechan los recursos hídricos de los ríos Colga y Quisiga para la generación de energía.

Los conceptos empleados en Ingetec desde hace algunos años han sido modificados e implementados en múltiples estudios (licenciados y construidos) donde se logra integrar definiciones de Vicente Conesa Fernández¹⁴ y Jorge Alonso Arboleda González¹⁵, aunque incorporando variaciones en los procedimientos y enfoques de acuerdo con las consideraciones y análisis de expertos.

La importancia de esa metodología se centra principalmente en acoger las directrices de la metodología ANLA, llamada “ad hoc” ya que es basada en una combinación y adaptación técnica en cuanto al número de atributos a integrar, la ponderación, los rangos de valoración, la magnitud de las categorías de calificación y la estandarización en el número de categorías de calificación de cada parámetro.

Si se quiere obtener una opinión general de las metodologías en Colombia, hay expertos quienes dicen que comparado con Panamá y otros países, las normas ambientales que se tienen en Colombia para el desarrollo de licencias ambientales en este tipo de iniciativas, es bueno con tendencia a mejorar, además de ser riguroso en aspectos como la evaluación de variables que, con un criterio subjetivo, no están siendo sustentadas.

Generalmente, el inicio se da a partir de la caracterización de las áreas de influencia por componente CON y SIN PROYECTO, que posteriormente permita con ayuda de estudios específicos, ponderar las variables que muchas veces son incluidas en los modelos solo para dar cumplimiento con el mismo, pero sin ningún criterio que lo justifique. Y resulta aún más importante, lograr que las iniciativas vayan más allá de unas medidas de mitigación y compensación dando relevancia

¹³ MÉTODO DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES Y SOCIALES DE INGETEC / Documento No: 0362901-IRF-B-GRAL-0001-DOC. 2019

¹⁴ Vicente Conesa Fernández. Guía Metodológica para la EIA. Ed. Artes Gráficas Cuesta SA, Madrid 2010.

¹⁵ Arboleda González Jorge Alonso. Manual para la Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos, obras o actividades” Medellín, 2008.

a la relación con las comunidades como principales agentes afectados con cada proceso de intervención.

9.1.2 Metodología Macano II y Palmira

Basado en los requerimientos del *Decreto Ejecutivo No. 123 de 14 de agosto de 2009*, para la evaluación de los impactos potenciales, se tienen en cuenta los criterios de GRADO DE PERTURBACIÓN, EXTENSIÓN, DESARROLLO, DURACIÓN y REVERSIBILIDAD.

Grado de Perturbación. Corresponde al vigor con que se manifiesta el proceso puesto en marcha por las acciones del proyecto. Su determinación puede efectuarse con modelos productivos que permiten medir el cambio neto de las condiciones con y sin proyecto. Igualmente puede asignarse una calificación subjetiva al cambio estimado del analista. La escala que se utiliza para medir la intensidad del impacto se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Escala de valoración del grado de perturbación de los impactos

Grado de perturbación	Valoración
Alta	10
Media	5
Baja	2

Extensión. La consideración más común relativa a la influencia espacial de los impactos, se refiere a que los mayores impactos se prevén en las cercanías, con disminución del impacto por distancia desde el sitio de cambio. Sin embargo, en circunstancias particulares como procesos sociales o económicos, se hizo una estimación de los impactos a distancia. La escala que se utiliza para medir la extensión del impacto se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Escala de valoración de la extensión de los impactos

Extensión	Valoración
<i>Generalizado</i>	10
<i>Local</i>	5
<i>Puntual</i>	2

Desarrollo. Califica el tiempo en que el impacto tarda en desarrollarse completamente, es decir, califica la forma como evoluciona el impacto, desde que se inicia y se manifiesta, hasta que se hace presente plenamente con todas sus consecuencias. La escala que se utiliza para medir el desarrollo del impacto se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Escala de valoración del desarrollo de los impactos

Desarrollo	Tiempo	Valoración
Rápido	Ocurre plenamente antes de un mes de iniciado	10
Medio	Tarda entre uno y doce meses para manifestarse plenamente	5
Lento	Requiere de más de doce meses para desarrollarse plenamente	2

Duración. Establece el lapso durante el cual las acciones propuestas involucran tendencias ambientales perjudiciales. Los impactos a corto plazo pueden definirse como aquellos inmediatos o de corta duración, tales como los que ocurren durante la construcción.

Por el contrario, los impactos a largo plazo son aquellos que perduran más allá del período inicial de la acción o que tienen implicaciones futuras o efectos secundarios. La importancia de considerar ambos tipos de efectos, es el permitir la valoración de los impactos del proyecto que pueden desmejorar el estado futuro del ambiente. La escala que se utiliza para medir la duración se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Escala de valoración de la duración de los impactos

Duración	Plazo	Valoración
> 5 años	Largo	10
2 - 5 años	Mediano	5
1 - 2 años	Corto	2

Reversibilidad. Los términos "irreversible" e "irrecuperable" se aplican principalmente a recursos no renovables. A menudo, la afectación a especies en peligro, el uso de combustibles fósiles, el aprovechamiento de minerales o la explotación de los ambientes silvestres, pueden involucrar impactos irreversibles.

Los impactos irrecuperables son los efectos adversos sobre algún valor que se perderá y que no podrá ser restituido. En base a la capacidad del sistema de retornar a una situación de equilibrio similar o equivalente a la inicial, la escala que se utiliza para medir la reversibilidad del impacto se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Escala de valoración de la reversibilidad de los impactos

Categoría	Capacidad de reversibilidad	Valoración
Irreversible	Baja o irrecuperable. El impacto puede ser reversible a muy largo plazo (50 años o más)	10
Parcialmente reversible	Media. El impacto puede ser reversible a largo plazo (entre 10 y 50 años)	5
Reversible	Alta. El impacto puede ser reversible en el corto plazo (entre 0 y 10 años)	2

Posterior a esta ponderación, se calcula un índice global por cada impacto obtenido el cual se denomina Valor de Impacto Ambiental (VIA) el cual se calcula ponderando los criterios anteriormente mostrados mediante la Ecuación 1.

$$VIA = (I * W_I) + (E * W_E) + (De * W_{De}) + (D * W_D) + (Re * W_{Re})$$

Ecuación 1. Valor de Impacto Ambiental

Donde:

<i>I</i>	= intensidad	<i>W_I</i>	= peso del criterio intensidad;
<i>E</i>	= extensión	<i>W_E</i>	= peso del criterio extensión;
<i>De</i>	= desarrollo	<i>W_{De}</i>	= peso del criterio desarrollo
<i>D</i>	= duración	<i>W_D</i>	= peso del criterio duración; y
<i>Re</i>	= reversibilidad	<i>W_{Re}</i>	= peso del criterio reversibilidad

Se cumple que: **$w_I + w_E + w_{De} + w_D + w_{Re} = 1$**

Éste índice varía entre 2 y 10, considerando una importancia relativa para cada criterio como lo muestra la siguiente tabla:

Tabla 12. Valores de VIA ponderados

<i>W_{intensidad}</i>	= 0.25
<i>W_{extensión}</i>	= 0.10
<i>W_{desarrollo}</i>	= 0.30
<i>W_{duración}</i>	= 0.15
<i>W_{reversibilidad}</i>	= 0.20

Finalmente se calcula y se evalúa la significancia del índice para cada impacto con la finalidad de determinar las acciones que permitan mitigar, reparar o compensar los efectos que produzcan. Todo es condensado en una matriz de efectos de doble entrada, con actividades y componentes ambientales afectados.

Tabla 13. Escala de significación de los impactos

VIA	Nivel de significancia
Muy significativo	9 - 10
Significativo	7 - 8
Poco significativo	5 - 6
No significativo	2 - 4

Éste análisis de valorización y caracterización de los impactos en cada etapa de construcción y operación (ver Tabla 14), conlleva a darle una jerarquía a cada impacto (ver Tabla 15), no solo identificando en qué proporción se afecta positiva o negativamente al ambiente, sino también identificar el medio que se ve más

comprometido. Todo lo anterior puede llevar a definir la viabilidad del proyecto y las medidas de prevención y mitigación que deban ser aplicadas.

Tabla 14. Valorización y caracterización de los impactos

MEDIO	FACTOR	IMPACTO	CARACTERÍSTICAS							VIA
			POS	NEG	INT	EXT	DES	DU	REV	
FÍSICO	Suelo	Remoción de Suelo Orgánico		-	5	5	5	5	2	4.4
		Disminución de Capacidad de Infiltración		-	2	2	10	2	2	3.6
	Agua	Aumento de Relación Erosión / Sedimentación		-	2	5	5	5	5	4.4
		Contaminación Elementos Extraños		-	10	5	5	2	2	4.8
		Alteración Dinámica del Río	+	-	5	2	2	10	10	5.8
	Aire	Contaminación por Ruido y Partículas Suspendidas		-	10	5	5	2	2	4.8
	Paisaje	Alteración Topográfica		-	5	5	5	10	10	7
BIÓTICO	Vegetación	Pérdida de la Cubierta Vegetal		-	5	5	10	5	2	5.4
	Fauna	Afectación de la Fauna		-	5	5	5	10	2	5.4
		Contaminación de Agua		-	10	5	10	2	2	5.8
SOCIO – ECONÓMICO	Empleo	Aumento de Mano de Obra Temporal y Permanente	+		5	5	10	2	2	4.8
	Beneficios Socioeconómicos	Aumento del Valor de las Tierras y Mejoras de Vías de Comunicación, Aumento de la Actividad Económica Regional y Nacional y Aumento de Ingreso	+		10	5	10	10	2	7.4

Tabla 15. Jerarquización de impactos

MEDIO	FACTOR	IMPACTO	VIA	JERARQUIZACION
FÍSICO	Suelo	Remoción de Suelo Orgánico	- 4.4	Impacto Negativo No Significativo
		Disminución de Capacidad de Infiltración	- 3.6	Impacto Negativo No Significativo
	Agua	Aumento de Relación Erosión / Sedimentación	- 4.4	Impacto Negativo No Significativo
		Contaminación Elementos Extraños	- 4.8	Impacto Negativo Poco Significativo
		Alteración Dinámica del Río	+/-5.8	Impacto Positivo/ Negativo Poco Significativo
BIÓTICO	Aire	Contaminación por Ruido y Partículas Suspendidas	- 4.8	Impacto Negativo Poco Significativo
	Paisaje	Alteración Topográfica	- 7.0	Impacto Negativo Significativo
	Vegetación	Pérdida de la Cubierta Vegetal	- 5.4	Impacto Negativo Poco Significativo

MEDIO	FACTOR	IMPACTO	VIA	JERARQUIZACION
	Fauna	Afectación de la Fauna	- 5.4	Impacto Negativo Poco Significativo
		Contaminación de Agua	- 5.8	Impacto Negativo Poco Significativo
SOCIO – ECONÓMICO	Empleo	Aumento de Mano de Obra Temporal y Permanente	+ 4.8	Impacto Positivo Poco Significativo
	Beneficios Socioeconómicos	Aumento de Valor de las Tierras, Mejora de Vías de Comunicación, Aumento de la Actividad Económica Regional y Nacional y Aumento de Ingreso	+ 7.4	Impacto Positivo Significativo
	Bienes y Servicios	Insumos, Recursos Locales, Equipo y Tecnología	+ 5.4	Impacto Positivo Poco Significativo

Para el proyecto hidroeléctrico de MACANO II resulta ser muy simple su análisis, inicialmente se establece la valorización de los impactos según la metodología de Guillermo Espinoza¹⁶ (ver Tabla 16). Esta valorización permite luego, calcular la importancia total del impacto por medio de la Ecuación 2 y finalmente poder definir el grado de importancia que tenga según los rangos mostrados en la Tabla 17.

¹⁶ Espinoza, Guillermo. Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental. Banco Interamericano de Desarrollo BID-Centro de Estudios para el Desarrollo CED. Santiago, Chile. 2002. Pág. 155-156

Tabla 16. Valorización de las características

Id / Característica	Definición	Valoración de la característica					
C CARÁCTER	Se refiere a la naturaleza del impacto.	NEGATIVO	(-)	NEUTRO	0	POSITIVO	(+)
P GRADO DE PERTURBACIÓN	Como podría variar el medio por efecto de la acción.	IMPORTANTE	3	REGULAR	2	ESCASA	1
I IMPORTANCIA AMBIENTAL	Valor que se le asigna al medio o a los recursos sobre el cual incidirá la acción.	ALTA	3	MEDIA	2	BAJA	1
O RIESGO DE OCURRENCIA	Se refiere la probabilidad de que se produzca el impacto.	MUY PROBABLE	3	PROBABLE	2	POCO PROBABLE	1
E EXTENSIÓN DEL AREA	Alcance del territorio o espacio que será afectado por la acción	REGIONAL	3	LOCAL	2	PUNTUAL	1
D DURACIÓN	Plazo de tiempo al cual podría extenderse el impacto.	PERMANENTE	3	MEDIA	2	CORTA	1
R REVERSIBILIDAD	Se refiere a la posibilidad de que el medio o el recurso puedan retornar a su condición antes del inicio de la acción.	IRREVERSIBLE	3	PARCIAL	2	REVERSIBLE	1

$$\text{Impacto Total}(IT) = C * [P + I + O + E + D + R]$$

Ecuación 2. Impacto Total

Tabla 17. Grado de importancia de cada impacto

Negativo	Severo (IT > - 15)	Moderado (-15 > IT > - 9)	Compatible (IT < - 9)
Positivo	Alto (IT > + 15)	Mediano (+15 > IT > + 9)	Bajo (IT < + 9)

9.1.3 Metodología del Manual Técnico de Evaluación Ambiental (MaTEA) 2018

Esta metodología al igual que la de Macano II, parte de los 5 criterios evaluados en el decreto ejecutivo (perturbación, extensión, desarrollo, duración y reversibilidad) y se establece un listado de 26 impactos ambientales que dependen de las condiciones y complejidad del proyecto (ver Tabla 18) existiendo la posibilidad de que puede ampliarse o reducirse. Cada impacto se valora con una metodología modificada de Vicente Conesa la cual presenta los atributos que determinan la importancia de un impacto (ver Tabla 19).

Tabla 18. Lista de impactos ambientales más comunes de acuerdo a las actividades y operaciones del Canal de Panamá.

N°	Impactos Identificados
1	Generación de gases contaminantes
2	Generación de ruido
3	Generación de partículas suspendidas
4	Erosión del suelo
5	Erosión de riberas y/o cauces de los ríos
6	Compactación de suelos
7	Contaminación del suelo
8	Cambio del paisaje natural
9	Cambio del régimen del flujo de agua
10	Cambio del nivel freático
11	Cambio de la cobertura vegetal
12	Cambio de la calidad de agua
13	Afectación de la fauna
14	Riesgo de atropello de vida silvestre
15	Riesgo de contaminación por hidrocarburos
16	Riesgo por accidentes
17	Cambio de uso de suelo
18	Generación de empleo
19	Impactos económicos
20	Acumulación de basura
21	Afectación de sitios arqueológicos
22	Afectación de caminos
23	Afectación de sistemas eléctricos
24	Afectación de infraestructuras
25	Afectación de comunidades en zona de influencia
26	Afectación de la calidad del aire

Fuente: ABourdett, JGuerrero

Tabla 19. Descripción de los atributos de un impacto ambiental y su valoración

Atributo	Descripción	Valoración
Naturaleza	El impacto es positivo o negativo	+/-
Intensidad del impacto (I)	Grado de destrucción	Baja (1), media (2), alta (4), muy alta (8), total (12)
Extensión (EX)	Área de influencia	Puntual (1), parcial (2), extenso (4), total (8), crítica (12)
Momento (MO)	Plazo de manifestación del impacto	Largo plazo (1), mediano plazo (2), inmediato (4), crítico (8)
Persistencia (PE)	Permanencia del efecto	Fugaz (1), temporal (2), permanente (4)
Reversibilidad (RV)	El ecosistema se recupera por sí mismo	Corto plazo (1), mediano plazo (2), irreversible (4)
Sinergia (SI)	Regularidad de la manifestación	Sin sinergismo o simple (1), Sinérgico (2) muy sinérgico (4).
Acumulación (AC)	Incremento progresivo	Simple (1), Acumulativo (4)
Efecto (EF)	Relación causa-efecto	Indirecto o secundario (1), directo (4).
Periodicidad (PR)	Regularidad de la manifestación	Irregular o aperiódico y discontinuo (1), periódico (2), Continuo (4).
Recuperabilidad (RC)	Reconstrucción por medios humanos	Recuperable de inmediato (1), recuperable a mediano plazo (2), mitigable y/o compensable (4), irreparable (8).

Fuente: Auditorías Ambientales Guía Metodológica de Vicente Conesa Fernández

La importancia de cada impacto estará definida por medio de la Ecuación 3.

$$Importancia(IMP) = \pm [3 * I + 2 * EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC]$$

Ecuación 3. Importancia del impacto

Posteriormente, se clasifica la significancia de cada impacto en base a la Tabla 20 y Tabla 21, las cuales son producto de la experiencia de la División de Ambiente de la ACP.

Tabla 20. Significancia de impactos ambientales

Importancia (VConesa)	Significancia (ACP)	Tipo de impacto
$IMP \leq 35$	0	Irrelevante
$35 < IMP \leq 55$	1	Bajo
$55 < IMP \leq 80$	2	Medio
$IMP > 80$	3	Alto

Fuente: ABourdett, JGuerrero

Tabla 21. Categorización de Estudio de Impacto Ambiental de Acuerdo a la Significancia de los Impactos Identificados

Significancia de los Impactos identificados	Rango	Documento a elaborar
Irrelevantes	Todos	Evaluación Ambiental Preliminar
Bajos	\sum de imp < 16	Evaluación Ambiental Preliminar
Bajos	\sum de imp \geq 16	EsIA Categoría I
Medios	\sum de imp < 10	EsIA Categoría I
Medios	$10 \leq \sum$ de imp \leq 15	EsIA Categoría II
Medios	\sum de imp \geq 16	EsIA Categoría III
Altos	\sum de imp \leq 10	EsIA Categoría II
Altos	\sum de imp > 10	EsIA Categoría III

Fuente: ABourdett, JGuerrero

9.1.4 Metodología criterios relevantes integrado

Este es un método desarrollado por la empresa de Consultoría de Ingeniería Caura S.A. de Panamá y tomado del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico Bonyic de Panamá. El fundamento del método es similar a los anteriores y consiste en obtener una calificación para cada impacto con base en diversos indicadores integrados “en un valor complejo que representará globalmente la relevancia del impacto”.

Los puntajes asignados a estos criterios se presentan en la

Tabla 22. Los indicadores se expresan como 2, 5, 7 y 10 ya que, repetidos análisis de sensibilidad mostraron que no era necesario utilizar toda la escala de valores.

Tabla 22. Rangos utilizados por el método de los factores relevantes integrados

PROBABILIDAD	INTENSIDAD	EXTENSIÓN	REVERSIBILIDAD	DURACIÓN	PUNTAJE
Alta (> 60%)	Fuerte	General	Irreversible	Larga (>10 años)	10
Medianamente alta (40 a 60%)	Medianamente fuerte	Extensiva	Reversible a largo Plazo (5 a 20 años)	Medianamente larga(5 a10 años)	7
Media (20 a 40%)	Media	Local	Reversible a corto plazo (< a 5 años)	Medianamente corta (2 a 5 años)	5
Baja (1 a 20%)	Baja	Puntual	Totalmente reversible	Instantánea	2
Nula (0%)	-	-	-	-	-

Fuente: Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico Bonyic, Panamá.

Riesgo (R). Es la probabilidad de que el impacto se produzca durante la vida del proyecto. Para determinarlo se emplean algunos de los métodos de evaluación de riesgos y se expresa en términos de alto, medio, bajo y nulo. Lógicamente, cuando el riesgo es nulo no se debe continuar con el proceso de evaluación porque esa calificación indica que el impacto no se va a presentar.

Intensidad (I). Expresa la cuantificación de la fuerza, peso o vigor con que se presenta el impacto. Generalmente es el indicador que muestra el valor del cambio. Para ello es necesario buscar una función que permita valorarlo, la cual se acostumbra llamar función de transformación o función de valor (las mismas funciones de calidad del método de Battelle).

Extensión (E). Es la medida del ámbito espacial (superficie, longitud, tamaño, etc.) en que ocurre la afectación. Se puede expresar en términos absolutos o relativos.

Duración (D). Es el período durante el cual se sienten las repercusiones del proyecto. Se mide por el número de años que dura la acción que genera el impacto.

Reversibilidad (Rv). Es la expresión de la capacidad del medio para retornar a una condición similar a la original. Se expresa también en términos de tiempo (años) que dura esta recuperación.

Los numerosos proyectos evaluados con esta metodología, reflejaron la necesidad de diferenciar el peso de cada indicador, por tal motivo, los análisis indicaron que la mejor ponderación sería: Riesgo 20%, Intensidad 30%, extensión 20%, duración 10% y reversibilidad 20%, los cuales estarían relacionados en la

$$VIA = (P * W_p) + (I * W_i) + (E * W_e) + (D * W_d) + (R * W_r)$$

Ecuación 4. Fórmula integradora

Donde:

VIA = Valor del impacto ambiental

Wp = Peso con que se pondera el riesgo (0.2)

Wi = Peso con que se pondera la intensidad (0.3)

We = Peso con que se pondera la extensión (0.2)

Wd = Peso con que se pondera la duración (0.1)

Wr = Peso con que se pondera la reversibilidad (0.2)

Seguidamente, el grado de relevancia o significancia del impacto será evaluado en función de los puntajes mostrados en la Tabla 23.

Tabla 23. Relevancia del VIA

RELEVANCIA	VIA
Muy alta	≥ 8.0
Alta	6.0 - 7.9
Media	4.5 a 5.9
Baja	≤ 4.5

Fuente: Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico Bonyic, Panamá.

9.1.5 Metodología EPM

Esta metodología fue desarrollada por la Unidad Planeación Recursos Naturales de las Empresas Públicas de Medellín en el año 1986, con el fin de asegurar la evaluación sistemática de los impactos ambientales, mediante el uso de indicadores homogéneos. En la Tabla 24 se presenta un resumen de los rangos que se aplican para la calificación de los criterios utilizados en la metodología EPM.

Tabla 24. Criterios metodología EPM

PRESENCIA	DURACIÓN	EVOLUCIÓN	MAGNITUD	PUNTAJE
Cierta	Muy larga o permanente (> 10 años)	Muy rápida (< 1mes)	Muy alta (Mr> a 80%)	1.0
Muy probable	Larga (> 7 años y < 10 años)	Rápida (> 1 mes y < 12 meses)	Alta (> 60 % y < 80 %)	0.7<0.99
Probable	Media (> 4 años y < 7 años)	Media (> 12 meses y < 18 meses)	Media (> 40 % y < 60 %)	0.4<0.69
Poco Probable	Corta (> 1 años y < 4 año)	Lenta (> 18 meses y < 24 meses)	Baja (> 20 % y < 40 %)	0.2<0.39
No probable	Muy corta (< 1 año)	Muy lenta (> 24 meses)	Muy baja (< 19%)	0.01<0.19

Mr: Magnitud relativa

Fuente: Modificada del Manual para la evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades (Jorge Alonso Arboleda) 2005

Presencia (P). En la mayoría de los impactos hay certeza absoluta de que se van a presentar, pero otros pocos tienen un nivel de incertidumbre que debe determinarse. Este criterio califica la posibilidad de que el impacto pueda darse y se expresa como un porcentaje de la probabilidad de ocurrencia, de la siguiente manera:

- Cierta: si la probabilidad de que el impacto se presente es del 100% (se califica con 1.0)
- Muy probable: si la probabilidad está entre 70 y 100 % (se califica entre 0.7 y 0.99)
- Probable: si la probabilidad está entre 40 y 70 % (0.4 y 0.69)
- Poco probable: si la probabilidad está entre 20 y 40 % (0.2 y 0.39)

- Muy poco probable: si la probabilidad es menor a 20 % (0.01 y 0.19)

Duración (D). Con este criterio se evalúa el período de existencia activa del impacto, desde el momento que se empiezan a manifestar sus consecuencias hasta que duren los efectos sobre el factor ambiental considerado. Se debe evaluar en forma independiente de las posibilidades de reversibilidad o manejo que tenga el impacto. Se expresa en función del tiempo de permanencia o tiempo de vida del impacto, así:

- Cierta: si la probabilidad de que el impacto se presente es del 100% (se califica con 1.0)
- Muy probable: si la probabilidad está entre 70 y 100 % (se califica entre 0.7 y 0.99)
- Probable: si la probabilidad está entre 40 y 70 % (0.4 y 0.69)
- Poco probable: si la probabilidad está entre 20 y 40 % (0.2 y 0.39)
- Muy poco probable: si la probabilidad es menor a 20 % (0.01 y 0.19)

Evolución (E). Califica la rapidez con la que se presenta el impacto, es decir la velocidad como éste se despliega a partir del momento en que inician las afectaciones y hasta que el impacto se hace presente plenamente con todas sus consecuencias. Este criterio es importante porque dependiendo de la forma como evoluciona el impacto, se puede facilitar o no la forma de manejo. Se expresa en términos del tiempo transcurrido entre el inicio de las afectaciones hasta el momento en que el impacto alcanza sus mayores consecuencias o hasta cuando se presenta el máximo cambio sobre el factor considerado, así:

- Muy rápida: cuando el impacto alcanza sus máximas consecuencias en un tiempo menor a 1 mes después de su inicio (se califica con 1.0)
- Rápida: si este tiempo está entre 1 y 12 meses (0.7 – 0.99)
- Media: si este tiempo está entre 12 y 18 meses (0.4 y 0.69)
- Lenta: si este tiempo está entre 18 y 24 meses (0.2 y 0.39)
- Muy lenta: si este tiempo es mayor a 24 meses (0.01 y 0.19)

Magnitud (M). Este criterio califica la dimensión o tamaño del cambio sufrido en el factor ambiental analizado por causa de una acción del proyecto. Se expresa en términos del porcentaje de afectación o de modificación del factor (por este motivo también se denomina magnitud relativa) y puede ser:

- Muy alta: si la afectación del factor es mayor al 80%, o sea que se destruye o cambia casi totalmente (se califica con 1.0)
- Alta: si la afectación del factor está entre 60 y 80 %, o sea una modificación parcial del factor analizado (se puede calificar 0.7 – 0.99)

- Media: si la afectación del factor está entre 40 y 60 %, o sea una afectación media del factor analizado (0.4 y 0.69)
- Baja: si la afectación del factor está entre 20 y 40 %, o sea una afectación baja del factor analizado (0.2 y 0.39)
- Muy baja: cuando se genera una afectación o modificación mínima del factor considerado, o sea menor al 20 % (0.01 y 0.19).

Posterior al análisis de los rangos de calificación para cada impacto, se procede a evaluar el índice de Calificación ambiental (Ca), el cual se relaciona con la Ecuación 5.

$$Ca = C * [P(E * M + D)]$$

Ecuación 5. Calificación ambiental

Donde:

C= Clase
P= Presencia
E= Evolución
M= Magnitud
D= Duración

Sin embargo, las primeras aplicaciones de la ecuación mostraron unos resultados en los que la calificación ambiental difería mucho con lo que se obtenía con otras metodologías o por calificaciones asignadas por especialistas en la materia. Mediante un análisis de sensibilidad se determinaron las siguientes constantes de ponderación: **a = 7.0** y **b = 3.0**.

Por tanto, se obtuvo una modificación en la ecuación para expresar la calificación ambiental de un determinado impacto de manera ajustada.

$Ca = C (P[axEM+bxD])$, donde reemplazando los valores de a y b se obtiene la Ecuación 6.

$$Ca = C * [P(7.0 * E * M + 3.0 * D)]$$

Ecuación 6. Calificación ambiental ajustada con constantes de ponderación

De acuerdo con las calificaciones asignadas individualmente a cada criterio, el valor absoluto de Ca será mayor que **0** y menor o igual que **10**. El valor numérico que arroja la ecuación se convierte luego en una expresión que indica la importancia del impacto asignándole unos rangos de calificación de la Tabla 25 de acuerdo con los resultados numéricos obtenidos.

Tabla 25. Importancia del impacto según el Ca

CALIFICACIÓN AMBIENTAL (puntos)	IMPORTANCIA DEL IMPACTO AMBIENTAL
≤ 2.5	Poco significativo o irrelevante
>2.5 y ≤ 5.0	Moderadamente significativo o moderado
> 5.0 y ≤ 7.5	Significativo o relevante
> 7.5	Muy significativo o grave

9.1.6 Metodología INGETEC

El método “ad hoc” parte de definir los parámetros que hace parte de componentes de áreas temáticas traídas de un plano empírico a través de un proceso lógico:

- i) Calificación de la Naturaleza del impacto (Clase –CL-)
- ii) Calificación del grado de la Afectación, Cambio o Variación (Duración –DU-, Extensión –EX-, Magnitud Relativa –MR)
- iii) Incertidumbre del grado de la Afectación (Incertidumbre –INC-)
- iv) Capacidad de asimilación del cambio en el Sujeto, Objeto o Elemento Expuesto (Vulnerabilidad –NV)
- v) Relación sistémica de las afectaciones o cambios (Acumulación –AC-, Sinergia –SI-)
- vi) Calificación de la Significancia (Significancia –SG-).

Luego de definir los parámetros de calificación, se procede a darle prioridad y jerarquía a cada uno de ellos por medio de la matriz realizada por el método Delphi¹⁷ (Ver Tabla 26), que posteriormente servirá para calificar los 7 parámetros usados en ésta metodología como se muestra en la Tabla 27.

Tabla 26. Grado de importancia de los parámetros

Intensidad	Definición juicios de importancia	Explicación
1	De igual importancia	El parámetro evaluado tiene igual importancia en la calificación de la significancia del impacto con respecto a los demás parámetros considerados
3	Moderada importancia	La experiencia y el juicio indican que el parámetro evaluado tiene una moderada importancia en la calificación de la significancia del impacto con respecto a los demás parámetros considerados
5	Fuerte Importancia	La experiencia y el juicio indican que el parámetro evaluado tiene una fuerte importancia en la calificación de la significancia del impacto con respecto a los demás parámetros considerados

¹⁷ “El método Delphi (nombre tomado del oráculo de Delphos) es una técnica de comunicación estructurada, desarrollada como un método sistemático e interactivo de predicción, que se basa en un panel de expertos. Es una técnica prospectiva utilizada para obtener información esencialmente cualitativa, pero relativamente precisa”. “El método de previsión Delphi utiliza juicios de expertos... considerando las respuestas a un cuestionario para examinar las probables orientaciones...”.
Fuente: wikipedia.org/wiki/Método Delphi

Intensidad	Definición juicios de importancia	Explicación
		demás parámetros considerados
7	Muy fuerte o demostrada importancia	La experiencia y el juicio indican que el parámetro evaluado tiene una muy fuerte o demostrada importancia en la calificación de la significancia del impacto con respecto a los demás parámetros considerados
9	Extrema importancia	La experiencia y el juicio indican que el parámetro evaluado tiene una extrema importancia en la calificación de la significancia del impacto con respecto a los demás parámetros considerados.
2,4,6,8	Valores intermedios	Cuando se necesita un compromiso de las partes entre valores adyacentes
Recíprocos	$a_{ij}=1/a_{ji}$	Hipótesis del método

Fuente: Documento metodología INGETEC

Tabla 27. Matriz con la importancia relativa de cada parámetro

Parámetro	Parámetro	Grado de importancia
P1	Duración (DU)	7
P2	Cobertura Espacial o extensión (EX)	8
P3	Magnitud Relativa (MR)	9
P4	Incertidumbre (INC)	4
P5	Nivel de Vulnerabilidad (NV)	9
P6	Acumulación (AC) *	3
P7	Sinergia (SI)	5

*En el escenario Sin Proyecto se consideró como P6 a la Calificación de la Tendencia (TE) en lugar de la Acumulación (AC).

Fuente: Documento metodología INGETEC

Con base en las matrices anteriores se elabora otra matriz de comparaciones a pares o “entre sí”¹⁸, que logra expresar la importancia que cada parámetro tiene con respecto a su homólogo con el cual se le compara y definir finalmente la ponderación específica que representa cada parámetro evaluado sobre 1.0 (ver Tabla 28 y Tabla 29).

Tabla 28 Matriz de comparaciones a pares para la obtención de ponderadores

			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
	Área temática	Grado de importancia	Duración (DU)	Extensión (EX)	Magnitud Relativa (MR)	Incertidumbre (INC)	Vulnerabilidad (NV)	Acumulación (AC)	Sinergia (SI)
P1	Duración (DU)	7		7/8	7/9	7/4	7/9	7/3	7/5
P2	Extensión (EX)	8	8/7		8/9	8/4	8/9	8/3	8/5
P3	Magnitud Relativa (MR)	9	9/7	9/8		9/4	9/9	9/3	9/5
P4	Incertidumbre (INC)	4	4/7	4/8	4/9		4/9	4/3	4/5
P5	Vulnerabilidad (NV)	9	9/7	9/8	9/9	9/4		9/3	9/5
P6	Acumulación (AC)	3	3/7	3/8	3/9	3/4	3/9		3/5
P7	Sinergia (SI)	5	5/7	5/8	5/9	5/4	5/9	5/3	

Fuente: Documento metodología INGETEC

¹⁸“Las comparaciones pareadas son bases fundamentales del AHP. El AHP utiliza una escala subyacente con valores de 1 a 9 para calificar las preferencias relativas de los elementos”. Toskano Hurtado, Gérard Bruno, op. cit.

Tabla 29 Ponderadores Obtenidos a través de la Matriz de comparaciones a pares

			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7				
	Área temática	Grado de importancia	Duración (DU)	Extensión (EX)	Magnitud Relativa (MR)	Incertidumbre (INC)	Nivel de Vulnerabilidad (NV)	Acumulación (AC)	Sinergia (SI)	Sumatoria	Peso	Pesos aprox.	Peso en porcentaje (%)
P1	Duración (DU)	7		0,88	0,78	1,75	0,78	2,33	1,40	7,91	0,16	0,16	16
P2	Extensión (EX)	8	1,14		0,89	2,00	0,89	2,67	1,60	9,19	0,18	0,18	18
P3	Magnitud Relativa (MR)	9	1,29	1,13		2,25	1,00	3,00	1,80	10,46	0,21	0,20	20
P4	Incertidumbre (INC)	4	0,57	0,50	0,44		0,44	1,33	0,80	4,09	0,08	0,08	8
P5	Nivel de Vulnerabilidad (NV)	9	1,29	1,13	1,00	2,25		3,00	1,80	10,46	0,21	0,21	21
P6	Acumulación (AC)	3	0,43	0,38	0,33	0,75	0,33		0,60	2,82	0,06	0,06	6
P7	Sinergia (SI)	5	0,71	0,63	0,56	1,25	0,56	1,67		5,37	0,11	0,11	11
			5,43	4,63	4,00	10,25	4,00	14,00	8,00	50,30	1,00	1,00	100

Fuente: Documento metodología INGETEC

Finalmente se define cómo evaluar la significancia del impacto en relación a los porcentajes que representa cada parámetro y que es expresado de manera simplificada en la Ecuación 7.

$$SG = \sum_{i=P1}^{P7} f(wi * sij)/10$$

Ecuación 7. Significancia del impacto

Dónde:

P: Parámetro

wi: Ponderación del parámetro i

sij: Puntaje del impacto j con respecto al parámetro i

La escala correspondiente a la calificación de significancia se muestra en la Tabla 30

Tabla 30. Intervalos y Conceptos escalares para la calificación de Significancia de los impactos

Intervalos	Calificación
$8 \leq SG \leq 10$	Muy Significativo
$6 \leq SG < 8$	Significativo
$4 \leq SG < 6$	Moderadamente Significativo
$2 \leq SG < 4$	Poco Significativo

Fuente: Documento metodología INGETEC

Los parámetros establecidos se evalúan y califican por medio de criterios escalares e intervalos de valores. Con el fin de ilustrar por medio del índice, el comportamiento del impacto se iguala los rangos de valores a un máximo común (en este caso 100) y se describen los coeficientes de ponderación de acuerdo con la regla consensuada por los expertos como se muestra en la Tabla 31.

Tabla 31. Notación, Conceptos Escalares, Valores de Calificación y Ponderadores de la Calificación de Significancia

P	Notación	Parámetro (i)	Definición	Fuente	Conceptos Escalares	Valores de Calificación	Puntajes Equivalentes (si)	Ponderadores (w)*	
P0	CL	Clase	La Clase "hace alusión al carácter benéfico (+) o perjudicial (-) de las distintas acciones que van a actuar sobre los distintos factores considerados"	Vicente Conesa Fernández. Guía Metodológica para la EIA. Ed. Artes Gráficas Cuesta SA, Madrid 2010.	Positivo (+) o Negativo (-)	(1) (-1)			
P1	DU	Duración	La Duración "evalúa el período de existencia activa del impacto y sus consecuencias. Se expresa en función del tiempo que permanece el impacto..."	Arboleda González Jorge Alonso. Manual para la Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos, obras o actividades" Medellín, 2008.	Permanente Larga Duración Corta Duración Temporal	4 ≤ DU ≤ 5 3 ≤ DU < 4 2 ≤ DU < 3 1 ≤ DU < 2	80 ≤ DU ≤ 100 60 ≤ DU < 80 40 ≤ DU < 60 20 ≤ DU < 40	wa	0,16
P2	EX	Extensión	La Extensión es la superficie afectada por el impacto, en relación con el entorno del proyecto (Unidad de Análisis del AI).	Adaptada por Ingetec con base en Vicente Conesa Fernández. Guía Metodológica para la EIA. Ed. Artes Gráficas Cuesta SA, Madrid 2010.	Regional Subregional Local Puntual	4 ≤ EX ≤ 5 3 ≤ EX < 4 2 ≤ EX < 3 1 ≤ EX < 2	80 ≤ EX ≤ 100 60 ≤ EX < 80 40 ≤ EX < 60 20 ≤ EX < 40	wb	0,18
P3	MR	Magnitud Relativa	Magnitud Relativa es la relación comparativa entre la cantidad del elemento afectado y la cantidad del elemento existente en el contexto analizado (Unidad de Análisis del AI), expresada en porcentajes.	Adaptada por Ingetec con base en Arboleda González Jorge Alonso. Manual para la Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos, obras o actividades" Medellín, 2008.	Muy Alta Alta Media Baja	4 ≤ MR ≤ 5 3 ≤ MR < 4 2 ≤ MR < 3 1 ≤ MR < 2	80 ≤ MR ≤ 100 60 ≤ MR < 80 40 ≤ MR < 60 20 ≤ MR < 40	wc	0,20
P4	INC	Incertidumbre	La Incertidumbre es el margen de error existente en la medición del cambio, en términos de duración, extensión o magnitud relativa de la afectación.	Ingetec con base en ANLA; Metodología General para la Elaboración y presentación de Estudios Ambientales 2018. Pág. 191, Numeral 7,2 Párrafo 3)	Muy Alta Alta Media Baja	4 ≤ INC ≤ 5 3 ≤ INC < 4 2 ≤ INC < 3 1 ≤ INC < 2	80 ≤ INC ≤ 100 60 ≤ INC < 80 40 ≤ INC < 60 20 ≤ INC < 40	wd	0,08
P5	NV	Vulnerabilidad	La vulnerabilidad es la predisposición, susceptibilidad, sensibilidad o fragilidad de personas, familias, comunidades humanas, ecosistemas o elementos de los ecosistemas a sufrir daño y su capacidad para absorber, asimilar o amortiguar el impacto.	Elaboración propia Ingetec	Muy Alto Alto Medio Bajo	4 ≤ NV ≤ 5 3 ≤ NV < 4 2 ≤ NV < 3 1 ≤ NV < 2	80 ≤ NV ≤ 100 60 ≤ NV < 80 40 ≤ NV < 60 20 ≤ NV < 40	we	0,21

Fuente: Documento metodología INGETEC

P	Notación	Parámetro (i)	Definición	Fuente	Conceptos Escalares	Valores de Calificación	Puntajes Equivalentes (si)	Ponderadores (w)*	
P6	AC	Acumulación**	La Acumulación se presenta cuando los efectos del impacto analizado resultan sucesivos, incrementales, y/o combinados con respecto a otros impactos de otros proyectos, obras o actividades con presencia en el AI y/o se suman "a otros impactos existentes, planeados y/o futuros razonablemente anticipados".	Ingetec con base en ANLA; Metodología General para la Elaboración y presentación de Estudios Ambientales 2018. Pág. 21 Glosario)	Muy Alta Alta Media Baja	$4 \leq AC \leq 5$ $3 \leq AC < 4$ $2 \leq AC < 3$ $1 \leq AC < 2$	$80 \leq DU \leq 100$ $60 \leq DU < 80$ $40 \leq DU < 60$ $20 \leq DU < 40$	wf	0,06
P7	SI	Sinergia	La Sinergia alude a las interacciones complejas del impacto analizado con los demás impactos del proyecto. "Un impacto sinérgico puede evidenciarse cuando el efecto combinado de dos impactos es mayor que su suma "	Ingetec con base en ANLA; Metodología General para la Elaboración y presentación de Estudios Ambientales 2018. Pág. 21 Glosario)	Muy Alta Alta Media Baja	$4 \leq SI \leq 5$ $3 \leq SI < 4$ $2 \leq SI < 3$ $1 \leq SI < 2$	$80 \leq SI \leq 100$ $60 \leq SI < 80$ $40 \leq SI < 60$ $20 \leq SI < 40$	wg	0,11
	SG	Significancia	La Significancia es el grado en que un impacto resulta Significativo. Los impactos ambientales significativos "son aquellos impactos negativos directos, indirectos, sinérgicos y/o acumulativos, que por la afectación que producen al ambiente resultan de importancia para la sociedad, que los valora tomando en consideración múltiples perspectivas a fin de tomar una decisión respecto de la viabilidad ambiental de emprender el proyecto que los generaría".	Ingetec con base en ANLA; Metodología General para la Elaboración y presentación de Estudios Ambientales 2018. Pág. 90, numeral 2.1; párrafo 3.	Muy Significativo Significativo Moderadamente Significativo Poco Significativo	$8 \leq SG \leq 10$ $6 \leq SG < 8$ $4 \leq SG < 6$ $2 \leq SG < 4$			
* Nota: La fuente de los ponderadores es Ingetec. Panel de expertos con base en la aplicación de metodologías Delphi y AHP (Escala de Thomas Saaty)									
** Es importante indicar que para la calificación del Impacto en el escenario Sin Proyecto se reemplaza el parámetro P6 Acumulación por el parámetro de Calificación de Tendencia (TE) ¹⁹									

Fuente: Documento metodología INGETEC

¹⁹ La Tendencia "En un sentido general, es un patrón de comportamiento de los elementos de un entorno particular durante un período"
<https://es.wikipedia.org/wiki/Tendencia>. En el presente documento la tendencia se define para el Escenario sin Proyecto como el comportamiento futuro del elemento afectado con base en los principales indicadores disponibles.

9.2 Comparación y definición

Tabla 32. Tabla comparativa entre las metodologías evaluadas

Metodología Criterio	Macano II y Palmira	(MaTEA) 2018	Caura	EPM	INGETEC
Ágil y de fácil comprensión	Demasiado básica y requeriría complementarse con otras metodologías	Presenta de manera muy general y simplificada los impactos más comunes, los atributos de evaluación y la ecuación que define la significancia del impacto	Es muy sencilla ya que define los rangos de cada factor y los integra en una ecuación que define la relevancia de cada VIA	La ecuación de Calificación ambiental es muy clara y sencilla, detalla la ponderación de cada parámetro	Desde el año 2015 han venido combinando y adaptando técnicamente varios métodos hasta ajustarla y simplificarla en una mucho más fácil y sobre todo funcional.
Sistemática	Puede volverse muy específica a dar cumplimiento a la normativa de Panamá. Imposibilita la modificación y adecuación de otros criterios a este modelo.	Al ser tan general, puede atribuirse el aspecto de sistemático para todo tipo de proyectos y más aún, específico con requerimientos de la ACP	Es usada para un proyecto hidroeléctrico que da cumplimiento a la normativa Panameña pero también puede aplicarse a otros proyectos	Permite la evaluación sistemática de los impactos y aplicable todo tipo de proyectos ya que aplica indicadores homogéneos	Tiene la ventaja se ser la única que está enmarcada dentro de los requerimientos de la ANLA. Al simplificarla permite también facilita aplicarla a otros proyectos y ayudar a definir el proceso del PMA
Requiere memoria explicativa	Todas las metodologías requieren de una memoria explicativa que tiene como finalidad detallar la manera como se califica cada impacto con base en diversos indicadores integrados, los cuales son evaluados de manera directa que permiten priorizar según la importancia y significancia que se le atribuye.				
Evaluación de los impactos	Para identificar los impactos se basan en la caracterización de los medios, la naturaleza de las acciones a ejecutar durante el proyecto en todas sus etapas (planeación, construcción, operación y abandono) y las características ambientales del área involucrada	Define una lista de impactos más comunes y luego de evaluarlos le da una significancia a cada impacto según la categoría que aplique	Solo se limita a la evaluación de los impactos por medio de indicadores que reflejan su relevancia o significancia	Permite tanto la identificación como la evaluación de los impactos, por lo tanto, se integra fácilmente con el PMA	La evaluación se da a partir de la definición del grado de importancia dado por el panel de expertos y el cual permite expresar la significancia del impacto
Aplicable partiendo de cualquier tipo de información	Requiere criterios de un experto y una buena caracterización de las condiciones de la zona.	Solo requiere seleccionar los tipos de impactos que apliquen al proyecto luego del análisis de los medios.	Se deben tener los impactos y estudios que permitan definir la temporalidad de cada factor	Se requiere de estudios y profesional experto para poder definir la probabilidad de ocurrencia del impacto	Requiere solo aplicar as valoraciones presentadas para cada parámetro sustentado en estudios y análisis posteriores

Metodología Criterio	Macano II y Palmira	(MaTEA) 2018	Caura	EPM	INGETEC
Absoluto e inmodificable	La ecuación presentada se limita al producto entre el criterio analizado y un índice subjetivo. En caso de querer mejorar la metodología, se vuelve más subjetiva y abría que redefinir las ponderaciones.	La lista de impactos es solo una opción, por tanto, se puede modificar y la ecuación no depende de ningún indicador, por tanto, en dado caso se podría ajustar a nuevos atributos ya que su valoración e independiente.	La relevancia del VIA es definitiva pero los indicadores de ponderación deben ser recalculado en caso de integrar otras variables	El valor numérico de la ecuación expresa la importancia del impacto según el rango de calificación. Para modificarla habría que redefinir la ecuación y constantes de ponderación	Lo han simplificado de tal manera que se evalúe lo necesario, sin embargo, los ponderadores y puntajes permiten en dado caso integrar más parámetros que puedan complementarlo
Ponderación y jerarquización de cada parámetro (Grado de subjetividad) *	Establece unos valores de VIA ponderados muy subjetivos	La ponderación está limitada al valor obtenido de operar las diferentes valoraciones de los atributos y no a ningún índice, se realiza a simple criterio	Define el peso de cada indicador el cual es basado en la experiencia de la aplicabilidad de la metodología, pero tiene cierto grado de subjetividad	El análisis de sensibilidad le permite ajustar la ecuación por medio de constantes de ponderación para tener resultados similares a otras metodologías	La manera de evaluar el grado de importancia de cada parámetro, está sustentada en la implementación del método Delphi, basada en un panel de expertos el cual da cierto grado de confianza. Mediante una matriz de comparaciones a pares, define el peso de cada parámetro
Aspectos relevantes	Califica el tiempo en que el impacto tarda en desarrollarse	También evalúa la manifestación del impacto y el atributo de la Sinergia	Limita el puntaje que asigna a cada criterio como 2, 5, y 10, producto del análisis de sensibilidad	Compara el resultado con otras metodologías y permite ajustar el modelo	Incluye el parámetro de Acumulación (con proyecto) y tendencia (sin proyecto)

* Éste criterio resulta ser el más decisivo y contradictorio al momento de proponer una mejora o adaptación de las metodologías, y representa la manera como se interpreta la importancia que tiene cada parámetro con respecto a su homólogo.

Fuente: Autores

El análisis de cada criterio permite evidenciar que lograr una metodología sistemática no es del todo complejo, pero resulta importante reconocer que a pesar de lograr algo general, todos los proyectos tendrán condiciones específicas que se deben tratar de manera detallada. Adicionalmente permite resaltar la metodología de Ingetec por su simplicidad y eficiencia al momento de evaluar la ponderación de cada parámetro que se incluye en el modelo.

Como se afirmó en capítulos anteriores, las metodologías deben partir de un correcto criterio y determinación que, al ser llevado a un modelo matemático, permitan ponderar las alteraciones que genera el proyecto y por tal afirmación, Ingetec plantea una metodología que está fundamentada en criterios basados por expertos que suficientes criterios técnicos determinan una correcta ponderación de cada parámetro involucrado en su modelo.

Posteriormente permiten la ponderación y jerarquización de cada parámetro mediante una matriz de comparaciones a pares. Esta jerarquización resulta ser lo más esencial en el planteamiento del análisis, ya que no resulta para nada fácil asegurar que tan importante es un factor respecto a otro. La mayoría de las metodologías se limitan a constantes establecidas de manera subjetiva que dan cierto grado de incredulidad a la aplicación de la metodología.

Lo anterior tampoco justifica que la metodología de EPM realice un análisis de sensibilidad para comparar los valores obtenidos con su teoría y lo que se encuentra con otros métodos, para luego presentar índices de ajuste a su ecuación que exprese un menor diferencial entre todos los métodos. Obtener diferentes resultados necesariamente no quiere decir que la metodología esté mal planteada y que requiera de un ajuste, puede que su metodología sea más asertiva que las demás, pero bien así debe plantarse una metodología con la cual el resultado no sea absoluto e inmodificable, sino que debe buscar ser sistemático y aplicable a otro tipo de proyectos.

10 OTROS ASPECTOS RELEVANTES

10.1 Acumulación de sedimentos en los embalses

Las consideraciones iniciales a tener en cuenta es que al colocar un embalse (*barrera en el cauce*) el comportamiento aguas arriba será una gran acumulación de sedimentos en el fondo que implican la disminución de la capacidad de almacenamiento. Estos problemas suelen ser mitigados con técnicas de conservación de suelos, que buscan evitar ese aporte de material. Otras técnicas empleadas son el dragado y limpieza, sin embargo, esas medidas correctivas son temporales ya que es complejo restablecer el equilibrio natural.

Ese aporte de sedimentos también pone en riesgo a la fauna, de manera que pueden obstruir las agallas de los peces y hace que se reduzca la su resistencia a enfermedades. De igual manera, la transferencia instantánea de grandes cantidades de sedimentos a través del desagüe de fondo o la extracción de sedimentos fuera del ecosistema acuático, suelen ocasionar graves impactos ecológicos.

Otro proceso derivado de este evento es la eutrofización, el cual generalmente se desarrolla en procesos de deforestación e inundación de grandes áreas y sucede cuando se produce un enriquecimiento de nutrientes en el agua, tanto así que se aumenta el crecimiento excesivo de algas en la superficie las cuales impiden que los rayos del sol entren al fondo y permitan realizar fotosíntesis a las plantas que finalmente mueren alternado el balance del ecosistema.

Estos procesos dependen de cuatro factores:

1. Hidrológicos (entradas fluviales y en algunos casos subterráneas, estabilidad de la lámina de agua, velocidad de la corriente, tiempos de retención del agua, flujos de inundación)
2. Morfométricos (batimetría, canales principales y secundarios, rugosidad del fondo, morfología externa, taludes, pendiente, islas, etc.)
3. Biológicos (vegetación dominante, disposición respecto al flujo principal, áreas que cubre, tipo de crecimiento, estacionalidad, biomasa, estado trófico)
4. Geoquímicos (aniones y cationes presentes en el agua, condiciones fisicoquímicas, materiales existentes en el área fuente, granulometría, transformaciones postdeposicionales, mineralizaciones) y de operación.

En este sentido, las características que presentan los sedimentos que se están acumulando revelan el dominio de unos factores sobre otros (Jones y Bowser, 1978), es decir, la dinámica de la sedimentación, así como los efectos que la acumulación de materia aporta en la transformación y evolución del ecosistema (Sáenz, 2018).

Estudios realizados por la Universidad nacional de Colombia, afirman que “para reducir las emisiones es necesario mejorar las condiciones de los afluentes, por ejemplo, disminuir la deforestación en las zonas aledañas a las represas, ya que toda la materia orgánica terminará en el embalse y disminuirá la presencia de oxígeno” desde modelos que permiten evaluar la variabilidad espacial y temporal mediante mediciones de las concentraciones de carbono generados a partir de procesos de degradación de materia orgánica, así como la del aporte de sedimentos (Iagua, 2016).

Otro aspecto relevante que genera el estudio, es la manera como se debe analizar las vías de flujo dentro del ecosistema, es decir, poder identificar la cantidad de gas que se difunde de la superficie del agua hacia la atmósfera y la condición en la que se descomponen los sedimentos a una tasa de velocidad tal que el gas metano no logra disolverse en el cuerpo de agua (Iagua, 2016).

10.2 Caudal Ecológico

De acuerdo a la Dirección General de Aguas (DGA)²⁰ el caudal ecológico se define como “caudal mínimo que debieran tener los ríos para mantener los ecosistemas presentes, preservando la calidad ecológica”.

Existen principalmente dos modelos para definir este caudal, el hidrológico y el eco hidráulico. El primero considera un determinado porcentaje del caudal natural del río, y el segundo contempla los requerimientos reales por parte de los usuarios (*flora y fauna acuática, vida humana y sus necesidades ambientales, etc.*).

En relación a métodos de criterio hidrológico, la DGA indica los siguientes:

*Q*_{ecológico} = 10 % del caudal medio anual

*Q*_{ecológico} = 50 % del caudal mínimo del estiaje del año 95 %

*Q*_{ecológico} = caudal que es excedido al menos 330 días al año

*Q*_{ecológico} = caudal que es excedido al menos 347 días al año

Todas las metodologías para la determinación del caudal ecológico vigentes en Europa y EE.UU., pueden clasificarse en dos grupos:

- *Métodos hidrológicos*: basados en el análisis de los datos históricos de caudales y plasmados en fórmulas empíricas generalizables, de fácil y rápida aplicación u obtenidos por aplicación directa de porcentajes fijos.

- *Métodos hidrobiológicos*: aquellos que se basan en la obtención de datos de campo para cada río en particular, considerando tanto los parámetros hidráulicos como los bióticos.

²⁰ Es una empresa que opera principalmente en el sector Aguas y Residuos en Chile

Los métodos hidrológicos son de fácil aplicación, pero no obedecen a ningún criterio científico y son consecuentemente arbitrarios que pueden conducir a valores fuera de la realidad. Los métodos de simulación del hábitat exigen largos trabajos de muestreo, no son extrapolables a otros ríos y utilizan criterios que a veces son subjetivos (*con lo que se pierde su carácter científico y resultan tan arbitrarios como los otros*).

Se recomienda el uso de métodos que consideren los requerimientos del ecosistema y la sociedad localizada en el área de influencia del proyecto, de tal forma de llegar a valores de caudales ecológicos más representativos de las necesidades del ambiente. Cabe notar que la mantención de un caudal ecológico es una variante relevante en la rentabilidad económica del proyecto, ya que a mayor caudal ecológico es menor la eventual potencia instalada.

Tabla 33. Ejemplos de caudales ecológicos y de metodologías empleadas en algunos países

País	Nivel de Caudal	Método de referencia
EE.UU.	El caudal será el más bajo durante 7 días consecutivos, una vez cada 10 años. Para series con registros de más de 25 años, el Q_e (Caudal ecológico) se define como la mediana de los caudales medios mensuales para el mes más seco (Consuegra, 2013).	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Valores del estiaje-muy bajo, no aseguran la sobrevivencia de las especies acuáticas. ✓ Método IFIM (<i>Instream Flow Incremental Methodology</i>)²¹ ✓ Método del Tennant en primera aproximación ✓ United States Fish & Wildlife Service
Inglaterra	Q_{347} ²² Ley vasca, 10% del caudal medio anual	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Valor calificando el estiaje muy bajo, no asegura la sobrevivencia de las especies acuáticas ✓ Desde 1989, método IFIM
Canadá	El 25% del módulo promedio interanual, reconocido como mínimo para mantener la vida acuática en el cuerpo de agua	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Método de Tennant²³
España	No hay obligación legal-referencia al 10% del módulo francés 46 al 33% del módulo promedio interanual.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Método del Tennant ✓ Método IFIM en prueba
Alemania		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Métodos simples de hidrología ✓ Desarrollo de método IFIM
Francia	La Ley N° 2006-1772 de 2006 establece el 10% del caudal medio interanual calculado	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Método del Tennant ✓ Métodos geometría hidráulica

²¹ Desarrollada por el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos con la colaboración de profesionales interdisciplinarios. Dentro de esta metodología se contemplan aspectos tan diversos como ingeniería hidráulica, biología, ecología y ciencias sociales, entre otras. Esta metodología es de tipo adaptativa, ya que los distintos modelos que la componen pueden ser combinados para adaptarse a distintos escenarios de análisis (Pizarro, 2004).

²² La legislación suiza propone algoritmos constituidos por un caudal mínimo base y un caudal complementario variable en función del Q_{347} (caudal superado 347 días del año), Para aguas no piscícolas fija como caudal mínimo el valor de 50L/s o el 35% del Q_{347} siempre que Q_{347} sea inferior a 1m³ /s. Para aguas piscícolas se especifican valores de caudal mínimo en función de los valores de Q_{347} (Diez, 2000).

²³ Proporciona las pautas para el manejo del caudal en base al porcentaje del caudal promedio que mantendría los atributos biológicos de un río. Es un método rápido donde la mayoría de los países lo han usado, básicamente en corrientes que no tienen estructuras de regulación como represas, diques u otras modificaciones en el cauce (Arthington & Zalucki, 1998).

País	Nivel de Caudal	Método de referencia
	para un período mínimo de 5 años. Supóngase que el caudal promedio interanual es de 20 m ³ /s, por lo tanto, el Qe de acuerdo con el código ambiental francés será de 2 m ³ /s (Consuegra, 2013).	✓ Método IFIM en adaptación
Colombia	Se considerará como tal el caudal de permanencia en la fuente durante el 95% del año. El Estudio Nacional del Agua (ENA, 2000) Establece el Qe como el caudal medio diario promedio de 5 a 10 años cuya duración es igual o mayor del 97.5%, que se comprueba corresponde a un tiempo de retorno (Tr) de 2.3 años	<ul style="list-style-type: none"> ✓ IFIM ✓ ENA- (IDEAM, 2000) ✓ ENA- (2004) ✓ El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2004)

Fuente: Autores / Modificado de diapositivas sin referencia

Tales técnicas de evaluación son basadas en condiciones específicas para cada país, donde la hidrología es propia de la región que se pretende intervenir. Otras permiten reconocer de manera eficiente la respuesta de una especie a la variación del caudal, lo que permite que sea adaptativa a las condiciones específicas de cada zona. Pero, lo más importante es evaluar si esas técnicas conllevan al ordenamiento sostenible de las cuencas hidrográficas y que para lograr esto, se requiere una evaluación interdisciplinar de profesionales en el tema.

Los Estudios técnicos deben soportar los lineamientos fijados por las autoridades ambientales competentes y las instituciones que influyen en la regulación del recurso hídrico. La metodología IFIM se ha implementado en varios proyectos en Colombia y ha permitido obtener buenos resultados, siendo la metodología más acertada y que da cumplimiento a los requerimientos del país.

10.3 Medidas de mitigación

Las medidas de mitigación, compensación y/o restauración planteadas resuelven o aminoran el impacto generalmente en forma efectiva. Sin embargo, se debe tener precaución por diversas razones a la hora de implementarlas:

- *Reacción del ambiente biótico:* como ejemplo, existen diversos casos de fauna capturada y trasladada que no es capaz de completar su ciclo de vida una vez evacuada a otras zonas. En tal caso, es claro que la medida de mitigación no sólo es poco efectiva, sino causa un perjuicio todavía mayor al esperado.
- *Reacción del medio físico:* es necesario verificar, por ejemplo, si la capacidad de arrastre del río en el tramo entre la bocatoma y la restitución es suficiente para elevar el gasto sólido reincorporado desde los desarenadores.
- *Reacción de las comunidades:* este es un punto muy sensible, ya que puede provocar el paro de obras una vez comenzadas. La participación de la comunidad en la elaboración de medidas de mitigación del proyecto es de vital importancia para evitar conflictos futuros.

Por tal motivo, es necesaria la correcta implementación de planes de seguimiento y monitoreo durante la etapa de operación del proyecto, con el propósito de mantener las condiciones ambientales estipuladas en el estudio o declaración realizada y ver la real efectividad de las medidas planteadas. Este plan debe contener al menos la definición de las variables ambientales a medir; el método de cálculo o medición; el análisis de resultados y un plan de acción según los resultados obtenidos.

Complementando lo relacionado a la afectación o cambio de las condiciones del ambiente biótico, existen algunas estrategias de mitigación sobre la fauna del cauce enfocada en estructuras construidas con materiales naturales que aseguren la migración de los peces superando la barrera que interpone su ciclo natural.

El propósito de estos canales es simular las condiciones naturales del río mejorando el paso de los peces por la presa. Asegurar estas condiciones conlleva a tener unas ventajas esenciales como (US Army Corps of Engineers, 2019):

1. Los peces reaccionan a las señales complejas de corriente y batimetría, y los canales similares a los canales naturales tienen menos probabilidades de causar desorientación que los canales que no lo son.
2. El diseño del canal natural permite que los canales de peces proporcionen un hábitat importante para el desove, así como también el paso.
3. El uso de sustratos naturales, en lugar de concreto u otros materiales lisos, proporciona rugosidad y espacios intersticiales que permiten el paso de pequeños peces e invertebrados bentónicos y, en muchos casos, colonizan la vía de pesca.
4. Una vía de peces construida con técnicas de diseño de canales naturales proporciona un hábitat que en algunos casos puede ser raro debido a la inundación del embalse.

Dentro de los diseños de rampas utilizados se tienen: tipo Denil, bloqueo, trampa-y-transporte, rampa de roca, y desvío de canales. En la Figura 13 se puede evidenciar el sistema de rampa de roca que se compone de un diseño simple y de costos relativamente bajos que logra superar barreras bajas y conjuntamente ayuda a controlar la erosión del arroyo. Se construyen en una pendiente de 20: 1 y se colocan rocas grandes para formar una serie de pequeñas piscinas transversales y caen a intervalos de aproximadamente 2 m (Thorncraft & Harris, 2000).

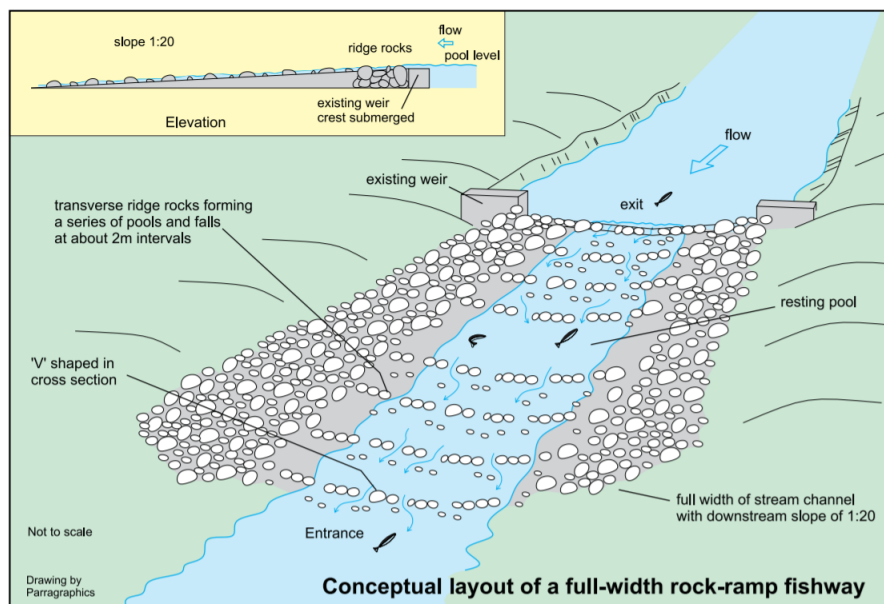


Figura 13. Rampa de roca de ancho completo planeado para el proyecto Miel II, 2017
Fuente: (Thorncraft & Harris, 2000)

La Figura 14 define la construcción del canal de roca sobre una parte del ancho de la barrera, con la finalidad de tener una pata de retorno que permita acercar la entrada a la pared del vertedero y requiere las mismas condiciones de diseño que la rampa anterior.

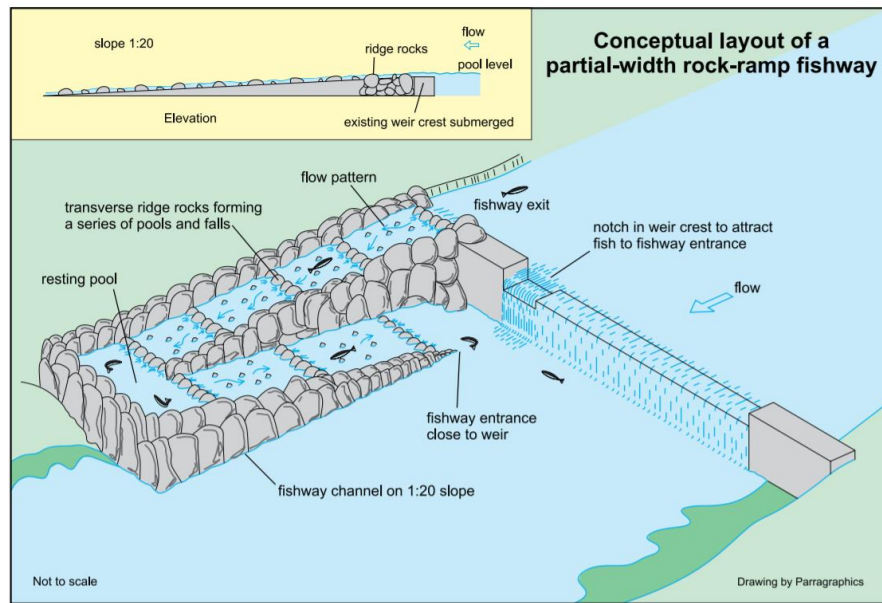


Figura 14. Rampa de roca de ancho parcial
Fuente: (Thorncraft & Harris, 2000)

Un factor determinante para definir el tipo de estructura a implementar, no solo consiste en analizar los tipos de especies de peces migratorios que se verán afectados, sino también considerar su tamaño, ya que, al ser de un tamaño más grande, requiere de flujos más elevados para asegurar el paso (Thorncraft & Harris, 2000).

Existe otra estrategia que amplía la gama de especies y tamaños de peces denominadas canales de derivación. En la Figura 15 se pueden ver canales de tierra o rocosos de bajo gradiente que imitan la estructura de las corrientes naturales. Las rampas aseguran la creación rápidos continuos donde la mayor parte de la rampa es bastante turbulenta y tiene velocidades más altas, donde se propician condiciones que sirven de hábitat para los macro invertebrados y generalmente tienen la mayor abundancia y diversidad (US Army Corps of Engineers, 2019).

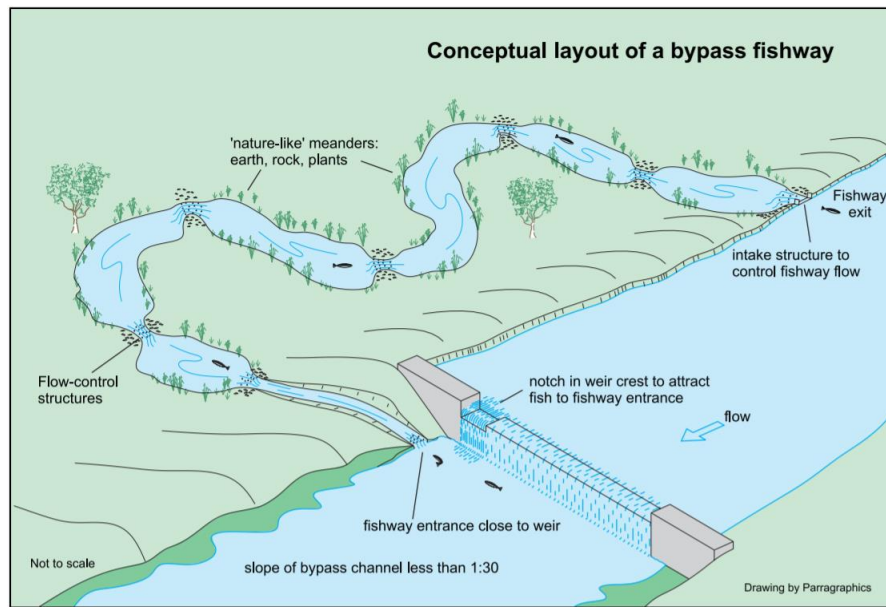


Figura 15. Diseño de Bypass Fishway
Fuente: (Thorncraft & Harris, 2000)

10.4 Intervención de los cauces

La situación energética de Colombia ese año afectada en el año 2016 a causa del fenómeno de El Niño y simultáneamente con el evento perjudicial ocurrido por un error humano que provocó el incendio de la central eléctrica de Guatapé y comprometió al SIN. La Figura 16 sustenta el mal manejo del potencial energético del país. Es evidente la manera en que se interviene de manera simultánea un área hidrográfica y como lleva a cuestionar las malas prácticas en la explotación del recurso, tanto así, que obligó a reactivar nuevamente las plantas térmicas del sector que pudieran aliviar la generación de energía.

La situación también denota la falta de intervención y monitoreo de entidades competentes como lo son los Planes estratégicos de macro-cuencas, POMCA, Planes de Ordenamiento Territorial (POT) a cargo de los municipios, que deben asegurar que se regule tanto el uso de la cuenca como del recurso hídrico.

Contrario a la anterior afirmación, se evidencia en la Figura 16 la situación presentada en el año 2016 con la central de Guatapé en la que se vio comprometido el sistema interconectado de la zona que obligó a reactivar otras plantas generadoras que dependen del carbón hasta el racionamiento de la energía. Todo lo sucedido se vio alimentado también por el fenómeno de El Niño y el mal manejo del potencial energético.

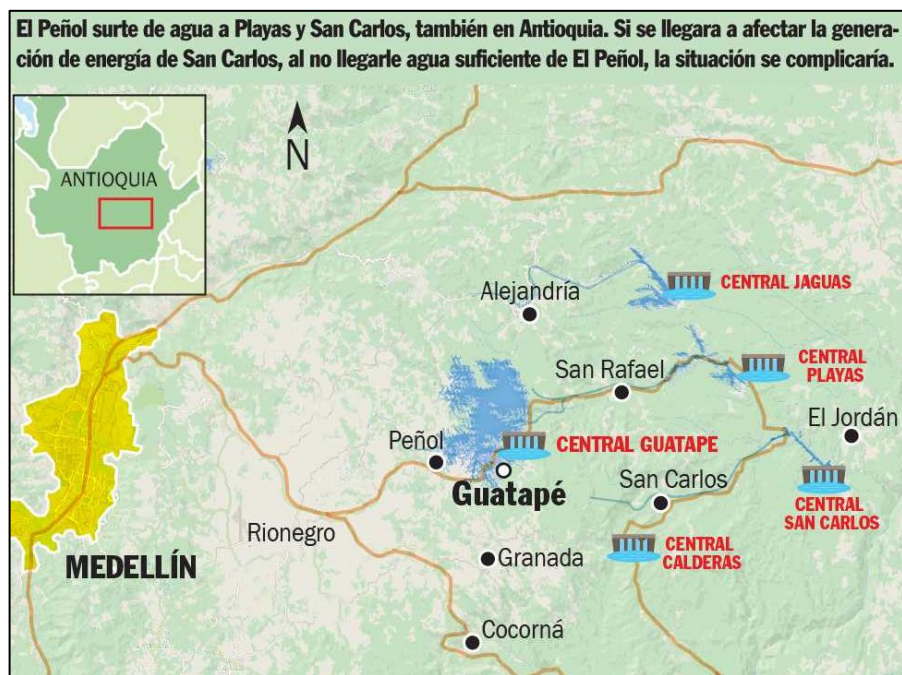


Figura 16. Impacto en toda la cadena hidroeléctrica
Fuente: (Semana, 2016)

Por otra parte, es importante resaltar las prácticas que implementa Panamá en busca mitigar los efectos de la sequía en el sector agropecuario mediante la construcción y rehabilitación de mini presas (*de uso múltiple como abastecimiento de agua Potable, agropecuario y control de inundaciones*) en cauces de ríos y quebradas para la captación y aprovechamiento de agua superficial.

Con el desarrollo de ese tipo de proyectos, se pretende evitar que se centralice en una sola estructura robusta la captación y buscar en cambio, que se haga en pequeñas obras que puedan ser bien planeadas, estudiadas y que generen menores cambios en el equilibrio natural del sector a intervenir.

Reforzando lo anterior, el desarrollo energético en Colombia declara que el 63,61% de la capacidad instalada corresponde a proyectos hidráulicos, de los cuales 110 registros son proyectos de PCH con producción menor a 20 MW. Esto demuestra que se puede promover el desarrollo de pequeñas obras que produzcan una menor cantidad de energía, pero asegurando una obra sostenible que responda a la demanda creciente del recurso eléctrico.

10.5 Intervención político-administrativa

Actualmente en Panamá se desarrolla un proyecto en la región de Azuero en el que sucedió que, por una decisión político-administrativa se decide mover el sitio de obra de una presa de un lugar con buenas condiciones geológicas a un lugar donde la roca está muy alterada. Esa alteración se da a raíz un tipo de roca intrusiva que produce la rotura y la pérdida de la resistencia y alteración de las condiciones de la roca. El cliente lo justifica como una medida en la que, en el nuevo sitio de obra se tiene una garganta más pronunciada y mejores condiciones hidráulicas para implantar la obra, sometido al riesgo que genera una mala roca que servirá como el material de fundación de la presa.

Otro caso relevante es lo que sucede en la hidroeléctrica Ivirizu en Bolivia, la cual amenaza la biodiversidad del Parque Nacional Carrasco. Este proyecto ha sido cuestionado ya que se aprueba la construcción de una hidroeléctrica dentro de un área protegida, más aún cuando se tiene planeado deforestar alrededor de 500 hectáreas y se ha confirmado el uso de dinamita en algunos de los trabajos. Peor aún, el plan de mitigación aprobado para el proyecto y el Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental del proyecto no ha sido publicado (Jemio, 2018).

Lo que hizo el gobierno boliviano fue declarar de interés y prioridad nacional la ejecución del proyecto en el 2016, año en el que el Ministerio de Medio Ambiente aprobó la Licencia Ambiental otorgándole la Categoría I. La categoría indica que, por su grado de incidencia, se requerían estudios un análisis detallado y la evaluación de todos los factores del sistema ambiental (Jemio, 2018).

Lo anterior permite evidenciar la falta de gestión y control por parte de las entidades ambientales competentes y cuestiona el manejo o aprobación que se le dan a propuestas hidroeléctricas en un país donde la generación de energía no es una necesidad sino una posibilidad de negocio rentable de exportación.

Por otro lado, no debe resultar complejo entender que las condiciones ajenas al diseño y más la gestión de control y monitoreo que debe tener todo proyecto, puedan ser tan determinantes para demostrar un proyecto bien planeado. Un ejemplo muy claro es lo sucedido en la obra de Ituango. Éste proyecto robusto que en teoría fue bien planeado y preparado para que no se dieran las condiciones de inestabilidad que provocaron el taponamiento de los túneles de desvío, razón por la cual se tuvo de inundar el cuarto de máquinas y comprometer la presa a que fuera sobrepasada por el agua.

Se dice que fue un error técnico en etapas de formulación, de falta de gestión y monitoreo, pero si se analiza el trasfondo, ese proyecto fue diseñado de igual manera que el proyecto de Azuero, teniendo como criterio de mayor peso las condiciones topográficas que pudieran optimizar la geometría y altura de caída para su aprovechamiento. Afortunadamente no pasó a mayores, pero el plan de

contingencia fue muy complejo ya que se comprometía a gran parte del territorio aledaño a la construcción. Todo esto obliga a tener mayores consideraciones de las condiciones geológicas y geotecnias de la zona.

11 CONCLUSIONES

- Cualquier proyecto debe buscar minimizar la manera cómo afecta el ambiente, pero también buscar maximizar las condiciones que integren de manera funcional el aspecto social. Es importante definir que no resulta ser solo un análisis técnico, sino que se deben involucrar todos los agentes que puedan afectar la toma de decisiones.
- Las metodologías evaluadas pueden resultar ser sistemáticas, pero es importante reconocer que, a pesar de definir lineamientos generales, todos los proyectos tendrán condiciones específicas que se deben tratar de manera detallada.
- Se debe procurar evitar responder subjetivamente a una variable o factor o parámetro para dar cumplimiento a una metodología, cada indicador debe estar sustentado con un estudio serio que facilite la ponderación eficiente por un profesional ambiental o experto en el tema.
- Al comparar las metodologías no se puede decir que una sea mejor o peor que la otra, cada una busca dar cumplimiento a los requerimientos normativos de cada país, pero si se quiere tener un complemento entre ellas con la que se logre un mejor análisis objetivo de los parámetros que modifican el equilibrio natural, la metodología de Ingetec ofrece ventajas en el análisis de impactos ambientales y busca ser una metodología interdisciplinar y sistemática, ya que logra integrar de manera eficiente
- La buena caracterización de los medios físico, biótico y social, la recolección de información primaria y cartografía de campo, deben ser integradas en la planeación de un proyecto y deben permitir proponer alternativas ambientales que aumenten su viabilidad del mismo, a pesar de que algunos parámetros a evaluar tienden a tener un comportamiento dinámico y poco predecible.
- Reconociendo que un proyecto rentable no necesariamente es sostenible, resulta necesario comprender la importancia que tiene la evaluación de impactos ambientales y que luego de proponer unas medidas correctivas o preventivas, sean capaces de asegurar que no se agoten o dañen los recursos necesarios para la operación de una hidroeléctrica convirtiéndola en una obra de infraestructura insostenible.
- Se resalta la importancia de analizar algunos factores que pueden generar consecuencias no esperadas y que resultan necesarias incluir en el análisis de los impactos. Esos factores pueden ser acumulación de sedimentos, procesos de eutrofización, la correcta evaluación del caudal ecológico para preservar los ecosistemas y la intervención a los cauces, ligado a la intervención y fortalecimiento de entidades competentes que la

preservación de las cuencas y el correcto aprovechamiento del recurso asegurando condiciones de sostenibilidad.

- La evaluación integral de las condiciones topográficas, hidrológicas, hidráulicas, geológicas, geotécnicas y en general de todos los factores bióticos y abióticos y sociales, deben convertirse en la justificación de implementar un proyecto en cierta zona. Esa decisión no debe ser alterada por condiciones político-administrativas que puedan poner en riesgo la sostenibilidad y viabilidad del proyecto.

12 ESTRATEGIAS DE DIVULGACIÓN

Es importante resaltar la participación que se tuvo justo cuando el proyecto aún estaba en desarrollo y finalización. Por lo anterior, este proyecto fue presentado como póster en el **1ER. ENCUENTRO DE LA RED INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN ERII, EN EL MARCO DE LA X JORNADA DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL** realizado los días 11 al 13 del mes de septiembre del año 2019 en instalaciones de la Universidad Católica de Colombia.

Igualmente, fue presentado en el **IX SEMINARIO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN GESTIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA** “Desafíos de la Ingeniería frente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS” el día 17 de octubre de 2019 en instalaciones de la Universidad Piloto de Colombia.



Ingeniería
Civil
Facultad de
Ingeniería

IX SEMINARIO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN GESTIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA

“Desafíos de la Ingeniería frente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS”

BOGOTÁ D.C.

OCTUBRE 15 - 18 DE 2019

OCTUBRE 15 DE 2019 - COMPENSAR CENTRO DE CONVENCIONES

AVENIDA CARRERA 68 No. 49 – 47

OCTUBRE 16-18 DE 2019 - UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

CARRERA 9 No. 45ª-44

**Participa
en ERII 2019**

**1^{er.} ENCUENTRO
DE LA RED
INTERNACIONAL
DE INVESTIGACIÓN**

en el Marco de la X Jornada
de Investigación Institucional

DEL 11 AL 13 | SEP - 2019

EJES TEMÁTICOS:

Envía ponencias presenciales
o virtuales hasta el **15 de julio**

- Derecho y ciencias sociales
- Arte, arquitectura, urbanismo y diseño
- Ingeniería y tecnología
- Ciencias de la salud
- Negocios, ciencias económicas y administrativas
- Educación y humanidades

Conoce más



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia
Vigilada Mineducación



Participantes



UCASAL
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SALTA



UNIVERSIDAD
Gabriela Mistral

UDEM

13 Bibliografía

- Correa, P. (12 de Mayo de 2012). Un mal cálculo de Isagen. El Espectador.
- Faisal, A. (14 de Febrero de 2017). Quora. Obtenido de How does a dam work?
- González, J. A. (2005). MANUAL PARA LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DE PROYECTOS, OBRAS O ACTIVIDADES . Medellín.
- Humboldt, I. d. (2015). Dilemas por el uso de energía hidroeléctrica. Obtenido de BIODIVERSIDAD:
<http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2015/cap4/405.html#seccion1>
- iagua. (22 de 9 de 2016). Los embalses colombianos también emiten gases de efecto invernadero. Newsletters temáticos de iAgua.
- Interior, U. (2005). Hydroelectric Power. Bureau of reclamation, Power Resources Office, 302.
- International, P. E. (02 de 12 de 2016). Panama impulsa proyectos hidroeléctricos. Obtenido de <https://www.powerengineeringint.com/2016/02/12/panama-impulsa-proyectos-hidroel-ctricos/>
- Jemio, M. T. (19 de 07 de 2018). Bolivia: hidroeléctrica Ivirizu amenaza la biodiversidad del Parque Nacional Carrasco. MONGABAY LATAM, periodismo ambiental independiente. Obtenido de <https://es.mongabay.com/2018/07/bolivia-hidroelectrica-ivirizu-parque-nacional-carrasco/>
- JSC, U. C. (2010). Ciencias Energéticas y Fluídas, descargables cursoMAGMA. Obtenido de http://cef.uca.edu.sv/descargables/2011_12_cursoMAGMA/pequenas_centrales_hidroelectricas.pdf
- Nausan, D. (19 de 05 de 2012). Termodinamica de Fluidos UD-FJC. Obtenido de PLANTAS TERMOELÉCTRICAS LOCALIZADAS EN COLOMBIA:
<http://termodinamicaudingelectrica.blogspot.com/2012/05/plantas-termoelectricas-localizadas-en.html>
- OLADE. (25 de 07 de 2011). Centrales hidroeléctricas. Obtenido de Componentes Básicos de un Proyecto Hidroeléctrico:
http://www.olade.org/sites/default/files/Parte_I.pdf
- Osava, M. (4 de Agosto de 2008). AMBIENTE-BRASIL: Alud de pequeñas centrales hidroeléctricas. TIERRAMÉRICA, Medio ambiente y desarrollo.
- Parra Basto, A. S., & Vacca, L. (13 de 05 de 2016). Propuesta metodológica para aplicar el principio de precaución en proyectos de centrales hidroeléctricas en Colombia.
- REPÚBLICA, L. (19 de febrero de 2019). Las plantas hidroeléctricas representan 68% de la oferta energética en Colombia. EFECTO HIDROITUANGO, pág. 1.
- Rico, G. (6 de Junio de 2018). Hidroeléctricas en Colombia: entre el impacto ambiental y el desarrollo. MONGABAY (Periodismo Ambiental Independiente).

- RuralInvest. (2007). FORMULACIÓN Y ANÁLISIS DETALLADO DE PROYECTOS (Un enfoque participativo para la identificación y preparación de inversiones rurales a pequeña escala) (Vol. Módulo 3). Roma, Italia: FAO 2005.
- Sáenz, P. E. (31 de 10 de 2018). Tasas de sedimentación y características de sedimentos de fondo en tres embalses de Antioquia , Colombia. Ingeniería del Agua, 18.
- School, T. U. (07 de Marzo de 2010). Binacional, Itaipu. Obtenido de Advantages of Hydroelectric Power Production and Usage.
- Semana. (27 de 2 de 2016). Crisis energética prende la alerta roja. Semana, 1. Obtenido de <https://www.semana.com/economia/articulo/electricidad-en-colombia-podria-haber-rationamiento/463015>
- Thorncraft, G., & Harris, J. (May de 2000). Fish Passage and Fishways in New South Wales: A Status Report. January 2000, 36.
- Tobón, V. P. (2016). ¡A propósito del impacto ambiental! Bogotá: Universidad EAN. Obtenido de Documento investigación.
- UMPE. (2019). INFORME DE SEGUIMIENTO A LA EVALUACIÓN DEL POTENCIAL HIDROENERGÉTICO. Bogotá.
- United Nations Climate Change. (22 de 11 de 2018). Cómo la energía hidroeléctrica puede ayudar a la acción climática.
- UPME. (2018). MAPA ENERGÉTICO DE COLOMBIA 2017 - 2050. Bogotá. Recuperado el 21 de Marzo de 2018
- US Army Corps of Engineers. (Octubre de 2019). Fish Passage - Types and Methods - Upstream Passage. Obtenido de Ecosystem Restoration Gateway: <https://cw-environment.erd.c.dren.mil/restore/fishpassage/types.cfm?Option=UpstreamStructuralNature&CoP=Restore&Id=fishpassage>
- A., Elizabeth Garrido. 2018. En 2020 estarán listos los estudios sobre cuencas hidrográficas en Panamá para ver si procede o no el proyecto río Indio y otros. El Capital. 25 de Julio de 2018.
- ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA MULTIOBJETIVO. HERNANDEZ TORRES, CAMILO ANDRES. 2011. 2011, págs. 1-24.
- Anywhere, Inc. 2019. Problemas Ambientales En Panamá. [En línea] 2019.
- Binacional, Itaipu. 2010. The USGS Water Science School. Advantages of Hydroelectric Power Production and Usage. [En línea] 07 de Marzo de 2010.
- Biodiversity impacts of large dams. McAllister, D, Craig, JF y Davidson, Nick. 2001. 1, 2001, lucn, Unep, Wcd, pág. 63.
- Caracterización de impactos ambientales y sociales generados por la construcción de grandes centrales hidroeléctricas en el país. Viviescas Santana, María Alejandra. 2014. 2014, Universidad Militar Nueva Granada, pág. 25.

- Copyright. 2011. Química Inorgánica. Densidad del agua. [En línea] 2011. <https://www.fullquimica.com/2012/04/densidad-del-agua.html>.
- Correa, Pablo. 2012. Un mal cálculo de Isagen. El Espectador. 12 de Mayo de 2012.
- DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL EN CENTRALES HIDROELÉCTRICAS EN COLOMBIA. CASO DE ESTUDIO PROYECTO EL QUIMBO. GARCIA CANO, KATHERINE DAYANA. 2016. 2016, Trabajo de Grado, Universidad Católica, pág. 2016.
- Ecological risk assessment of hydropower dam construction based on ecological network analysis. Chen, Shaoqing, Fath, Brian D. y Chen, Bin. 2010. 5, 2010, Procedia Environmental Sciences, Vol. 2, págs. 725-728. 10.1016/j.proenv.2010.10.083.
- ECOSOC – Economic And Social Council. Spröte, Wolfgang. 2010. February 2006, 2010, A Concise Encyclopedia of the United Nations, Vol. 24718, págs. 147-152.
- El Sector hidroeléctrico en Latinoamérica: Desarrollo, potencial y perspectivas. Alarcón, Arturo D. 2018. 2018, Nota técnica del BID 1405.
- Environmental and social impacts of large scale hydroelectric development: who is listening? Rosenberg, DM M., Bodaly, R. A. y Usher, P. J. 1995. 2, 1995, Global Environmental Change, Vol. 5, págs. 127-148. 10.
- Faisal, Arbab. 2017. Quora. How does a dam work? [En línea] 14 de Febrero de 2017.
- Gestión y fundamentos de evaluación de impacto ambiental. Espinoza, Guillermo y Alzina, Virginia. 2002. 2002, Banco Interamericano de Desarrollo.
- GUÍA DE IMPACTO AMBIENTAL PARA CENTRALES HIDROELÉCTRICAS. IGLESIAS CARVAJAL, SANTIAGO. 2011. C, 2011, UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.
- GUIA METODOLOGICA PARA LA EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL. Ruberto, Alejandro. 2006. 2006. 84-7114-647-9.
- Henry, J G, Heinke, G W y García, H J E. 1999. Ingeniería ambiental. s.l. : Prentice Hall, 1999.
- Hidroeléctricas en Colombia: entre el impacto ambiental y el desarrollo. Rico, Guillermo. 2018. 6 de Junio de 2018, MONGABAY (Periodismo Ambiental Independiente).
- Humboldt, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von. 2015. Dilemas por el uso de energía hidroeléctrica. BIODIVERSIDAD. [En línea] 2015. <http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2015/cap4/405.html#seccion1>.
- Hydroelectric Power. Interior, U.S. Departament of the. 2005. 2005, Bureau of reclamation, Power Rsources Office, pág. 302.
- Indígenas de Panamá rechazan propuesta del Gobierno sobre hidroelectricas. Service, E F E News. 2012. 2012, págs. 1-2.
- JSC, Universidad Centro Americana. 2010. Ciencias Energéticas y Fluídas, descargables cursoMAGMA. [En línea] 2010.

http://cef.uca.edu.sv/descargables/2011_12_cursoMAGMA/pequenas_centrales_hidroelectricas.pdf.

La consulta popular ante los impactos ambientales de la construcción de Proyectos Hidroeléctricos en Colombia. Estudio del Caso de la Hidroeléctrica El Quimbo. Osorio, Cesar. 2018. 2018, Universidad Católica de Colombia, págs. 1-38.

Metodología de Identificación de Impactos Ambientales en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas de Pasada en Cauces Naturales, Estudio de Casos. Ordoñez, Rodolfo. 2011. 2011, pág. 120.

Nuestra empresa. Resources, Tamaya y Towers, Charters. 2008. 2008, págs. 1-3.

Osava, Mario. 2008. AMBIENTE-BRASIL: Alud de pequeñas centrales hidroeléctricas. TIERRAMÉRICA, Medio ambiente y desarrollo. 4 de Agosto de 2008.

Osorio, J F S. 2008. Energía hidroeléctrica. s.l. : Prensas Universitarias de Zaragoza, 2008.

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA APLICAR EL PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN EN PROYECTOS DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS EN COLOMBIA. PARRA BASTO, ANGIE STEPHANIA and LARA VACCA, ANGIE ESTEFANIA. 2016. May, 2016, UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS. FACULTAD.

SALAS, ALCIDES y BLANDON, QUERUBIN. EL DESARROLLO HIDROELÉCTRICO EN PANAMÁ Y SU APOORTE A LAS CIENCIAS NATURALES.

Secretaría Nacional de Energía. 2017. Plan energético Nacional 2015-2050 "Panamá el futuro que queremos". 2017.

Some history and hydrology of the Panama Canal. Pabst, A F. 2000. June, 2000.